

Sami Leppämäki

SUURTUULIVOIMALAN
TEKNISET VALINTAKRITEERIT
SISÄMAAN TUULIOLOIHIN
Selvitys Saimaan Voima Oy:lle

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2010




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 28.5.2010	
Tekijä(t) Sami Leppämäki		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikan koulutusohjelma, suuntautuminen sähkövoimatekniikka	
Nimeke Suurtuulivoimalan tekniset valintakriteerit sisämaan tuulioloihin			
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin osana Saimaan Voima Oy:n tuulivoimahanketta. Siinä karsittiin markkinoilla olevista 2 – 6 MW:n nimellistehoista tuulivoimaloista soveltuvimmat voimalat varsinaisen valintaprosessin pohjaksi. Markkinoilla on runsaasti eritehoisia ja eri rakenneratkaisulla toteutettuja tuulivoimaloita. Esi-selvitys haluttiin tehdä, koska kaikkien niiden vertaileminen tarjouskilpailussa olisi ollut liian hidas ja raskas prosessi.</p> <p>Suunniteltu tuulivoimahanke sijaitsee Juvalla Etelä-Savossa. Valintakriteerien suunnitteluun tämä vaikut-ti niin, että niissä painotettiin tuulivoimaloiden soveltuvuutta sisämaan heikkotuulisiin olosuhteisiin. Työn aikana kartoitettiin markkinoilla olevat tuulivoimalavalmistajat ja niiden tuotevalikoimasta valittiin sopivimmat voimalamallit mukaan vertailuun. Vertailuryhmään otettiin mukaan 26 tuulivoimalan val-mistajaa ja 40 voimalamallia. Tuulivoimaloiden vertailussa tarvittavat tekniset tiedot hankittiin valmista-jien verkkosivuilta.</p> <p>Vertailussa käytetyt valintakriteerit liittyivät tuulivoimaloiden energiatuotantoon, rakenteeseen ja käyt-töaikaan. Tuuliolosuhtetietoina käytettiin Suomen uuden tuuliatlaksen tietoja. Suomen ja Ruotsin val-mistajakohtaiset käyttövarmuudet laskettiin maiden tuulivoimatilastoista, joista mukaan otettiin ainoas-taan vastaavan kokoluokan tuulivoimaloiden tiedot. Valintakriteereille määriteltiin painoarvot, joiden perusteella kokonaistulokset laskettiin kriteerikohtaisista tuloksista. Kokonaistulosten perusteella tehtiin lopullinen ehdotus tuulivoimalavalmistajista valintaprosessin seuraavalle kierrokselle.</p> <p>Tuulivoimaloiden kartoituksen myötä syntyi laajan markkinakatsauksen lisäksi hyvä näkemys tuulivoi-mateollisuuden nykyisestä kehityssuunnasta ja -vauhdista. Valintakriteerien suunnittelun ja vertailun tekemisen myötä tuulivoimatuotannon laskentaperiaatteet tulivat tutuksi. Samalla esille nousi tekijöitä, jotka on hyvä ottaa huomioon valintaprosessin jatkovaiheissa. Käyttövarmuustietojen kerääminen ja käyttövarmuuden laskeminen tarjosivat selkeän kuvan tuulivoimaloiden luotettavuudesta sekä tuuli-voimakapasiteetin kasvusta Suomessa ja Ruotsissa viimeisen viiden vuoden ajalta.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Tuulienergia, tuulivoimalat, energiantuotanto, käyttövarmuus			
Sivumäärä 30 + liitteet 7	Kieli Suomi	URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Keijo Kiljala		Opinnäytetyön toimeksiantaja Saimaan Voima Oy	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 28.5.2010
Author(s) Sami Leppämäki		Degree programme and option Degree Programme in Electrical Engineering, Option in Electric Power Engineering
Name of the bachelor's thesis The technical selection criteria of a large wind turbine for the inland wind conditions		
Abstract <p>The main objectives of the bachelor's thesis were to compare the large wind turbines in the markets and based on that, to create the proposal about the most suitable turbines for the next round of the selection process in the Saimaan Voima Oy's wind energy project. The target area of the project is located at the inland in Juva therefore a lot of effort was made to considering the low wind speed conditions of the inland site in the comparison.</p> <p>The manufacturers of the large wind turbines were studied in the first phase. Thereupon the wind turbines of the low wind speed were selected from the product ranges of the manufactures to the comparison group. After that, the useful materials were searched and collected including the wind energy statistics of Finland and Sweden, the new Finnish Wind Atlas – wind energy resource map and the technical specifications of the wind turbines. The selection criteria were planned based on the materials according to the wind conditions. The comparison was made in the practice by the spreadsheet program which enabled the reuse of the comparison.</p> <p>The selection criteria were divided into three categories: the energy production, the engineering structure and the operation time. The energy production category was contained the annual energy production, the capacity factor and the production per the rotor swept area criteria. The engineering structure category was consisted the power density and the hub height criteria. Finland and Sweden operational reliability criteria were included in the operation time category.</p> <p>The weighting value was given to every selection criterion and the overall result was calculated according to the values. The highest uncertainty of the overall result was related to the calculation of the energy production due the used method and the inaccurate source data. The final outcome of the thesis was the proposal which included six manufacturers plus four optional manufacturers from 26 manufacturers of the comparison group.</p>		
Subject headings, (keywords) Wind energy, wind turbines, energy production, operational reliability		
Pages 30 + appendices 7	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Keijo Kiljala		Bachelor's thesis assigned by Saimaan Voima Oy

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS	2
2.1	Toimeksiantaja.....	2
2.2	Opinnäytetyön aihe	2
3	AINEISTON HANKINTA	5
3.1	Aineiston hankinnan periaate	5
3.2	Tuulivoimaloiden tekniset tiedot	6
3.3	Tuulisuustiedot	7
3.4	Käyttövarmuus tiedot.....	9
4	VERTAILUN TOTEUTUS	11
4.1	Valintakriteerien suunnittelu	11
4.2	Valintakriteerien määrittelyt	13
4.3	Valintakriteerien painotus	20
4.4	Valintakriteerien pisteytys	22
4.5	Vertailutaulukko	23
5	VERTAILUN TULOKSET	24
5.1	Yksittäisten valintakriteerien tulokset	24
5.2	Vertailun kokonaistulokset	25
6	POHDINTA	26
	LÄHTEET	30

LIITTEET

Liite 1. Tekniset tiedot

Liite 2. Valintakriteerien tulokset

Liite 3. Kokonaistulokset

1 JOHDANTO

Uusiutuvat energiamuodot ovat lisänneet kiinnostavuuttaan ja suosiotaan huimasti viimeisen kymmenen vuoden aikana niin maailmalla kuin Suomessakin. Tuulivoiman tuotanto on kasvanut voimakkaasti sen mukana maailmalla, mutta ei kuitenkaan Suomessa (Wind Energy - The Facts 2008; Suomen tuulivoimatilastot 2010). Osana EU:n energiapolitiikka, Suomen valtio on lähdössä tukemaan tuulivoiman hyödyntämistä syöttötariffijärjestelmällä. Tavoitteena on kasvattaa tuulivoiman asennettu kapasiteetti yli neljätoistakertaiseksi, 140 MW:sta 2000 MW:iin vuoteen 2020 mennessä. (Vuoden 2008 ilmasto- ja energiastrategia 2008.) Tavoitteen täyttämiseen Suomeen tarvitaan yli 600 uutta tuulivoimalaa seuraavan kymmenen vuoden aikana, vaikka asennetut voimalat olisivat nimellisteholtaan suuria 3 MW:n tuulivoimaloita. Tämä tarkoittaa merkittävää muutosta tuulivoimatuotannon kasvattamisessa verrattuna aikaisempaan kasvuvauhtiin (Suomen tuulivoimatilastot 2010).

Tämänkaltaisessa murrosvaiheessa uusia toimijoita tulee mukaan energiamarkkinoille. Tämä opinnäytetyö tehdään Saimaan Voima Oy:lle, joka on yksi uusista toimijoista energiamarkkinoilla. Saimaan Voima Oy:n tavoitteena on kehittää tuulivoimatuotantoa Etelä-Savon alueella. Opinnäytetyö liittyy yhtenä osana yrityksen ensimmäiseen tuulivoimahankkeeseen Juvalla.

Tässä opinnäytetyössä on ollut tarkoituksena karsia markkinoilla olevista suurtuulivoimaloista teknisessä mielessä sopivimmat Juvalla sijaitsevaan kohteeseen. Kohteen sijainnista johtuen, erityistä huomiota kiinnitettiin tuulivoimaloiden soveltuvuuteen sisämaan heikkoihin tuulioloihin. Opinnäytetyö toteutettiin kolmessa vaiheessa. Ensimmäisenä kartoitettiin suurtuulivoimaloiden valmistajia ja niiden tarjoamia tuulivoimaloita. Sen jälkeen etsittiin aineistoa, jota voitaisiin käyttää vertailun toteuttamisessa. Näihin lukeutuivat niin voimaloiden tekniset tiedot kuin tuulivoimatilastot sekä tuulisuustiedot. Seuraavaksi aineiston pohjalta suunniteltiin valintakriteerit ja laskentataulukko, joilla vertailu toteutettiin käytännössä. Valintakriteerit kohdistuivat tuulivoimaloiden energiatuotantoon, rakenteeseen ja käyttövarmuuteen.

Lopputuloksena työstä syntyi ryhmä tuulivoimalavalmistajia, jotka ehdotettiin otettavaksi mukaan valintaprosessin seuraavaan vaiheeseen Juvan tuulivoimahankkeessa.

Lisäksi tuotettiin listaus tuulivoimalavalmistajista ja -malleista sekä laskentataulukko uudelleen käytettäväksi tuulivoimaloiden vertailuun.

2 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS

2.1 Toimeksiantaja

Opinnäytetyöntöön toimeksiantaja on Saimaan Voima Oy. Se on vuonna 2009 perustettu yhtiö, jonka tehtävänä on tuulienergian mahdollisuuksien kartoittaminen sekä tuulivoiman rakennuttaminen ja tuotanto. Yhtiön toimialueena on Etelä-Savo, ensisijaisesti Juva ja Rantasalmi ja sen omistavat kolme yksityistä sijoittajaa sekä Suur-Savon Sähkö Oy.

Juvan Loukeenvuoren tuulivoimahanke

Juvan Nääringin kylän Loukeenvuoren laelle on suunnitteilla tuulivoimahanke, joka koostuisi yhdestä tai kahdesta tuulivoimalasta neljän hehtaarin alueella. Hankkeen nimellistehoksi on suunniteltu kahdesta kuuteen megawattia. Kuuden megawatin nimellisteholla olisi tavoitteena päästä parhaimmillaan 15000 MWh energiantuotantoon vuodessa. Tuotettu energia on tarkoitus syöttää Suur-Savon Sähkö Oy:n sähköverkkoon. Tuulimittaukset on käynnistetty vuoden 2009 kesällä ja ne jatkuvat vuoden 2010 kesään saakka. Jos hanke etenee toteutusvaiheeseen, tuulivoimalan/tuulivoimaloiden olisi tarkoitus käynnistyä vuonna 2010 tai viimeistään vuonna 2011.

2.2 Opinnäytetyön aihe

Ongelma opinnäytetyön taustalla

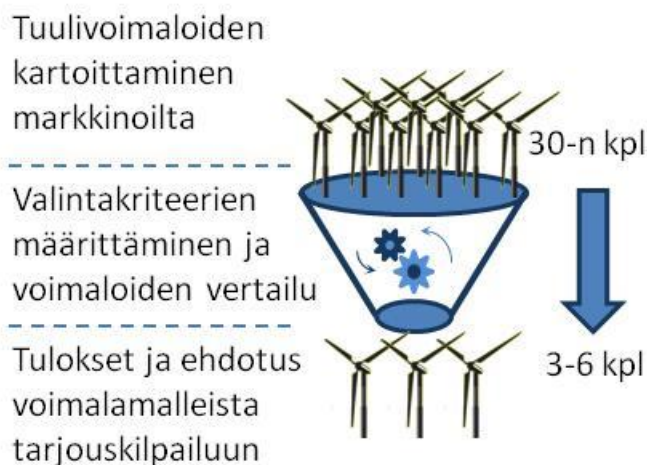
Tuulivoimaloiden valmistajia on nykyään lukuisia sekä erilaisilla rakenneratkaisuilla toteutettuja voimalamalleja on runsaasti. Kaikkia näitä ei voida vertailla perusteellisesti tarjouspyyntöjen pohjalta raskaan ja hitaan prosessin takia, vaan tarjouskilpailuun osallistuvien valmistajien ja voimaloiden määrää täytyy rajoittaa jo etukäteen. Opinnäytetyöllä haetaan ratkaisua tarjouskilpailuun osallistuvien voimalamallien valintaan.

Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää tuulivoimaloiden esivalintaan liittyvät tekniset tekijät Saimaan Voima Oy:n tuulivoimahankkeessa Juvan Loukeenvuorelle.

Hankkeen sijaintipaikan takia erityistä huomiota kiinnitettiin tuulivoimaloiden soveltuvuuteen sisämaan matalatuulisiin olosuhteisiin. Näiden tekijöiden pohjalta määriteltiin valintakriteerit, joilla etsittiin markkinoilla olevista tuulivoimalamalleista teknisessä mielessä sopivimmat jatkoon voimalavalinnassa. Tavoitteena oli, että opinnäytetyön tuloksena syntyy ehdotus tuulivoimalamalleista, jotka muodostaisivat pohjan ehdokasjoukolle lopulliseen valintaprosessiin.

Lähtökohdiltaan opinnäytetyö koostuu kolmesta pää-osasta: markkinoilla olevien tuulivoimaloiden kartoittaminen, valintakriteerien kehittäminen ja vertailun tekeminen mukaan lukien tulosten analysointi (kuva 1). Tuulivoimaloiden kartoittamisessa tuli ottaa huomioon, että vertailuryhmässä olisi edustettuna valmistajia vähintään kolmesta eri maanosasta. Lisäksi haluttiin, että tuulivoimaloissa yleisesti käytetyt eri rakenneratkaisut olisivat myös edustettuna. Vertailtavien tuulivoimaloiden nimellisteho alueeksi oli asetettu 2 – 6 MW. Vertailuryhmän tavoitekokoksi oli asetettu 30 tuulivoimalamallia tai enemmän ja karsinnan jälkeiseksi tavoitemääräksi kolmesta kuuteen tuulivoimalamallia.

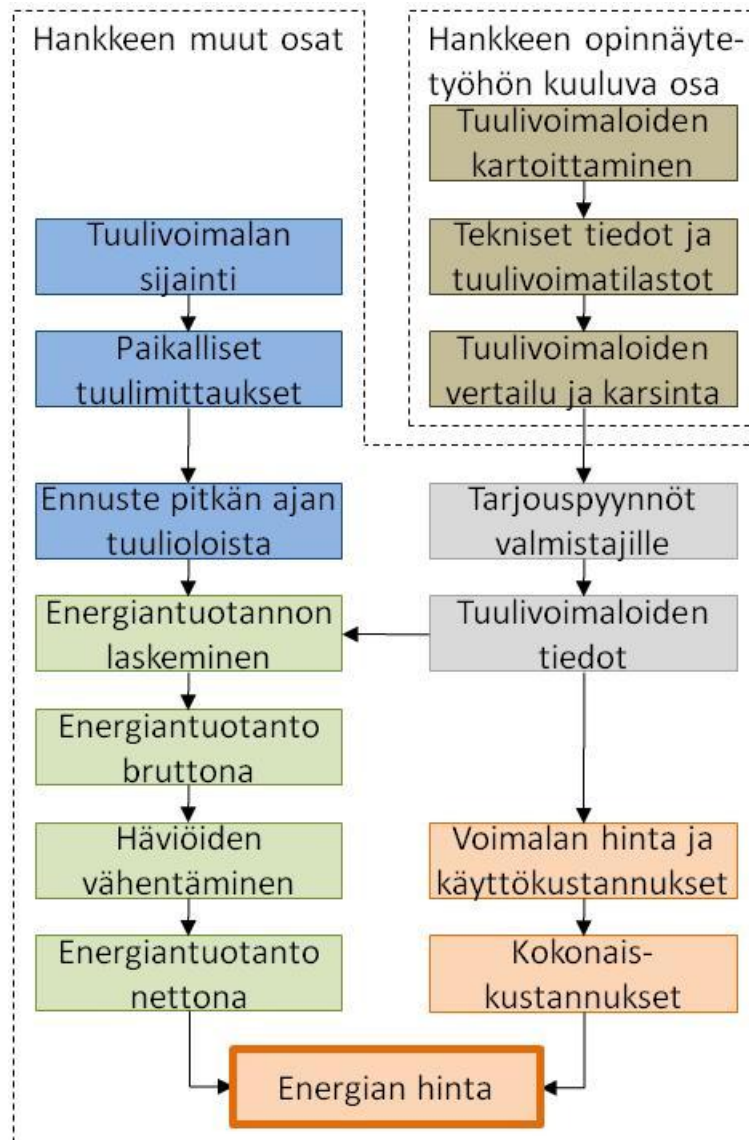


KUVA 1. Periaatekuva opinnäytetyön tarkoituksesta

Tuotoksina opinnäytetyöstä odotettiin itse vertailun tulosten lisäksi valintakriteerejä kuvauksineen, ehdotusta voimalamalleista perusteluineen sekä laskentataulukkoa tuulivoimaloiden vertailuun.

Työn raja

Opinnäytetyö oli rajattu niin, että siinä tarkastellaan tuulivoimaloita ainoastaan teknisestä näkökannasta, joten taloudellinen näkökulma ei ollut mukana tarkastelussa. Kokonaishankkeeseen opinnäytetyö liittyi niin, että se tapahtui ajallisesti tuuliolojen selvityksen rinnalla ja ennen tarjouskilpailuun osallistuvien valmistajien valintaa.



KUVA 2. Opinnäytetyön raja ja liittyminen hankkeen muihin osiin

Kuvassa 2 on esitetty opinnäytetyöhön kuuluva osakokonaisuus ruskeapohjaisilla laatikoilla. Muun värisillä laatikoilla on kuvattu hankkeen muita osakokonaisuuksia: sinisellä pohjalla tuuliolojen selvittäminen, vihreällä pohjalla energiantuotanto ennusteiden tekeminen, harmaalla pohjalla tuulivoimala valmistajien kilpailuttaminen ja oranssilla pohjalla hankkeen talous ja kannattavuus laskelmat. Lopputuloksena päädy-

tään tuotetun energian hintaan kullakin tuulivoimalalla ja ne voidaan siten vertailla taloudelliselta kannalta.

Suunnitelma ja aikataulu

Opinnäytetyön tekemisestä tehtiin sopimus tammikuun loppupuolella ja itse työn tekeminen ajoittui keväälle 2010. Työ jaettiin kolmeen vaiheeseen, jossa tärkeimpänä tekijänä oli se, että vertailun tulokset olisivat käytössä maaliskuun lopussa. Näin ollen siitä tuli aikataulun kriittisin piste. Sitä ennen suoritettavaksi tavoitteeksi asetettiin suunnitelman tekeminen opinnäytetyöstä helmikuun loppuun mennessä ja aikatavoitteeksi opinnäytetyön valmistumiselle asetettiin toukokuun loppu. Kuvassa 3 on esitetty opinnäytetyön päävaiheet aikataulutavoitteiden suhteen.

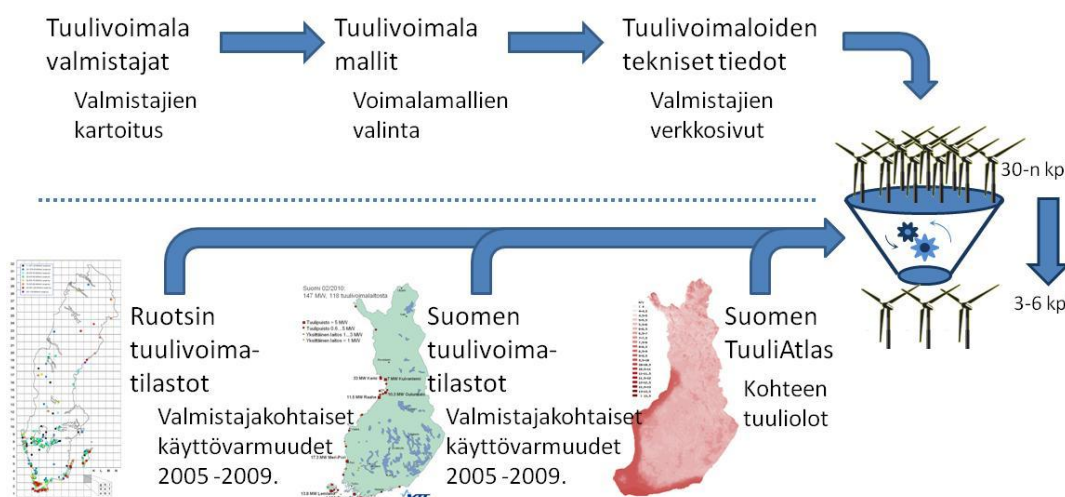


KUVA 3. Opinnäytetyön tavoiteaikataulu

3 AINEISTON HANKINTA

3.1 Aineiston hankinnan periaate

Opinnäytetyössä käytetyn aineiston hankinta jakautui kahteen erilliseen osioon. Toisessa osiossa tiedonhankinta kohdistui tuulivoimalan valmistajiin ja heidän kauttaaan käytössä oleviin tietoihin kuten voimaloiden teknisiin tietoihin. Toisessa osiossa soveltuvaa aineistoa haettiin muualta kuten tuulivoimatilastoista. (kuva 4.)



KUVA 4. Periaatekuva opinnäytetyössä käytetyistä aineistoista

3.2 Tuulivoimaloiden tekniset tiedot

Tuulivoimaloiden teknisten tietojen hankkimisen osalta, työ aloitettiin kartoittamalla tyypillisesti julkisessa jaossa olevat tekniset tiedot. Liite 1 sisältää vertailussa mukana olleet tuulivoimat ja käytetyt tekniset tiedot niiden osalta.

Tuulivoimalavalmistajien kartoittaminen

Tuulivoimalavalmistajien kartoituksen pohjana käytettiin EWEA:n listausta merkittävistä tuulivoimavalmistajista Euroopassa vuosien 2001 ja 2007 välillä (Wind Energy - The Facts 2008). Sen jälkeen käytiin läpi Suomen ja Ruotsin tuulivoimatilastot ja varmistettiin, että kaikki niissä esiintyvät valmistajat vertailun teholuokassa ovat mukana vertailussa (Suomen tuulivoimatilastot 2010; Driftuppföljning vindkraft 2010). Vertailuryhmää täydennettiin vielä Internet-haun tulosten pohjalta eritoten Aasialaisten valmistajien osalta. Lopputuloksena päädyttiin 26 valmistajan mukaan ottoon vertailuryhmään. Vertailuryhmässä on edustettuna useita valmistajia Euroopasta, Aasiasta sekä Pohjois-Amerikasta. Näin saatiin täytettyä vertailuryhmälle asetettu vaatimus maantieteellisestä kattavuudesta vähintään kolmen maanosan osalta.

Tuulivoimalamallien valinta

Tuulivoimaloiden nimellisteho alueeksi oli asetettu 2 – 6 MW. Valmistajien verkkosivujen pohjalta tutustuttiin valittujen valmistajien tarjoamiin tuulivoimalaitosmalleihin vertailun kokoluokassa. Voimalamallien valinnassa painotettiin sopivuutta heikkotuulisiin olosuhteisiin, useimpien valmistajien kohdalla oli helppo todeta sopivin malli hyvien kuvausten avulla. Jos valmistajalta löytyi useita eri nimellisteholla

olevia voimaloita vertailun kokoluokkaan, valittiin eri tehoisista voimaloista sopivimmat mallit. Samalla nimellisteholla olevista voimaloista valittiin isommalla roottorilla varustettu malli. Vestaksen valikoimasta valittiin tietoisesti poikkeuksellisen laaja otos, 5 erilaista tuulivoimalaa. Näiden avulla oli tarkoitus seurata erityyppisten voimaloiden käyttäytymistä vertailun eri vaiheissa. Tuulivoimalamallien valinnan jälkeen vertailuryhmän kooksi tuli 40 tuulivoimalaa, joka täytti hyvin asetetun tavoitteen vertailuryhmän koosta, joka oli 30 tuulivoimalaa tai enemmän.

Teknisten tietojen keräys

Tuulivoimaloiden tekniset tiedot kerättiin valmistajien verkkosivuilta. Keräys toteutettiin samana päivänä eli 11.3.2010 kaikkien valmistajien osalta. Kerättyihin tietoihin kuuluivat:

- Nimellisteho
- Roottorin koko
- Napakorkeus
- Käynnistymisnopeus
- Nimellisnopeus
- Pysäyttämisenopeus
- Tehokäyrä
- Vaihteistotyyppi
- Generaattorityyppi
- Toimintalämpötila-alue

3.3 Tuulisuustiedot

Käytettävien tuulisuustietojen valinta tehtiin todellisten tuulimittausten ja Suomen tuuliatlaksen sisältämän laskennallisen tuuliolosuhdekuvauksen välillä. Tässä työssä päädyttiin käyttämään tuuliatlaksen tuulisuustietoja useammastakin syystä. Vertailun luonteesta johtuen ei ole tarvetta laskea todellisia vuosituotantoennusteita vaan voimaloiden keskinäinen vertailu kohteenkaltaisissa olosuhteissa riittää. Vuosituotanto arviot lasketaan kokonaishankkeen myöhemmässä vaiheessa todellisten tuulimittausten perusteella. Tuulimittausten kesto oli vielä lyhyt vertailua tehdessä.

Suomen tuuliatlas

Suomen tuuliatlas on tuulienergiakartasto, jonka avulla voidaan vertailla tuuliolojen vuotuista ja kuukausittaista vaihtelua joko koko Suomessa tai tietyillä rajatuilla alueilla. Tuulienergiakartaston pohjana on numeerinen säämalli. Uusi Suomen tuuliatlas on julkistettu 25.11.2009. Se edustaa mahdollisimman hyvin aikavälin 1989 – 2007 keskimääräisiä tuulioloja. Tuuliatlas sisältää tuuliolojen kuvaukset eri korkeuksilta 50 metristä 400 metriin koko maan alueelta 2,5 x 2,5 neliökilometrin kokoisina hiloina. Seuraavassa listassa tuuliatlaksen sisältämät tuulitiedot hila-alueista: (Suomen tuuliatlas 2009).

- Frekvenssit (%) koko aineistolle ja stabiilille tilanteelle erikseen
- Tuulen keskinopeus (m/s)
- Weibull-parametrit A ja K koko aineistolle sekä eri stabiilisuusluokkiin jaettuna
- Ilman keskilämpötila (°C)
- Turbulenssin intensiteetti eri nopeusluokille
- Puuskakertoimet eri nopeusluokille
- Tuulen energiasisältö (W/m^2)
- Tyynen kuukauden keskituulen nopeus, Weibull parametrit A ja k
- Kova tuulisen kuukauden keskituulen nopeus, Weibull parametrit A ja k

Tiedot löytyvät suuntavektoreittain tai kaikkien suuntien yhteistuloksena sekä ajallisesti edustettuna kuukausikohtaisesti tai koko vuoden yhteistuloksena.

Tuulitietojen valinta

TuuliAtlaksesta käytettiin hilaruutua 17585, jonka keskipisteen koordinaatit ovat: leveyspiiri 61.91111 ja pituuspiiri 27.62240. Loukeenvuoren tuulivoimahanke sijaitsee 2,5x2,5 neliökilometrin kokoisen hilaruudun pohjoisosassa. Hilaruudun tiedoissa korkeus on määritelty mallin maanpinnantasosta, joka taas on esitetty hilaruudun keskiarvona, joten se tasoittaa hilaruudun sisällä olevat todelliset maan pinnan muodot. Loukeenvuoren korkeudeksi arvioitiin 50 m suhteessa hilaruutumallin maanpinnan tasoon. ja voimalan napakorkeudeksi valittiin 100 m, joten tuulitiedoista käytettiin 150 m korkeudelta olevia arvoja.

TAULUKKO 1. Käytetyt tuulitiedot TuuliAtlaksesta

Hila 17585, korkeus	Korkeus vertailussa	Tuulen keski- nopeus V (m/s)	Weibull- jakauman A	Weibull- jakauman k
125m	75m	6.2	7	2.7
150m	100m	6.6	7.4	2.7
200m	150m	7.3	8.2	2.7

Käytetyt tuulitiedot ovat kaikkien suuntien yhteistulos ja edustavat ajallisesti koko-vuotta.

3.4 Käyttövarmuus tiedot

Käyttövarmuus tietojen lähtökohtana olivat Suomen tuulivoimatilastot, mutta Suomen vähäisen tuulivoimala lukumäärän takia, käyttövarmuus tietojen laajuutta haluttiin parantaa ottamalla mukaan jokin toinen maa. Olosuhteiltaan valitun maan piti olla kuitenkin riittävän lähellä Suomea, jotta tulokset kertoisivat tuulivoimaloiden toiminnasta Suomen kaltaisissa olosuhteissa. Lähialueilta ainoaksi vaihtoehdoksi jäi Ruotsi, jossa tuulivoimaloita on käytössä merkittävässä määrin. Tanskan katsottiin olosuhteiltaan jo liian erilaiseksi. Näin käyttövarmuudessa tutkituiksi kohdemaiksi valikoituivat Suomi ja Ruotsi. Tilastoituja tuulivoimaloita vertailun kokoluokassa oli Suomessa 30 kappaletta ja Ruotsissa 167 kappaletta vuonna 2009. Ruotsin tuulivoimaloiden mukaanotto moninkertaisti otoksen suuruuden verrattuna siihen, että olisi tarkasteltu ainoastaan Suomen tuulivoimaloihin. Käyttövarmuus tietoja päätettiin hyödyntää niin, että niiden pohjalta laskettiin valmistajakohtaiset käyttövarmuudet vertailun kokoluokassa olevista voimaloista. Molemmissa maissa oli edustettuna viisi eri valmistajaa, joista neljä valmistajaa oli samoja kummassakin maassa. Täten tiedoista voitiin saada käyttövarmuustiedot kuudelle eri valmistajalle. (Suomen tuulivoimatilastot 2010; Driftuppföljning vindkraft 2010.)

Suomen tuulivoimatilastot

Suomen tuulivoimatilastoja kerää ja ylläpitää nykyään VTT. Tilastoja on kerätty vuodesta 1992 alkaen. VTT julkaisee kuukausi- ja vuosiraportit tilastoista verkkopalvelussaan (Suomen tuulivoimatilastot 2010). Tilastot sisältävät sekä tuotanto- että vika-

Valmistajakohtaiset käyttövarmuudet vertailun kokoluokassa laskettiin vuosiraporttien seisokkiaikojen ja voimaloiden lukumäärien perusteella vuosilta 2005 - 2008. Vuodelta 2009 vastaava laskelma tehtiin kuukausiraporttien pohjalta, koska vuosiraporttia ei ollut vertailun tekohetkellä vielä julkaistu. (Suomen tuulivoimatilastot 2010.) Vuosi-kohtaisten käyttövarmuuksien perusteella laskettiin tuulivoimaloiden lukumäärällä painotettu käyttövarmuus viiden vuoden ajanjaksolle 2005 – 2009, jota käytettiin vertailussa (taulukko 2). Laskennassa käytettiin seuraavaa kaava:

$$k_{05-09} = \frac{n_{05} \cdot k_{05} + n_{06} \cdot k_{06} + n_{07} \cdot k_{07} + n_{08} \cdot k_{08} + n_{09} \cdot k_{09}}{n_{05} + n_{06} + n_{07} + n_{08} + n_{09}}$$

Kaavassa k on käyttövarmuus, n tuulivoimaloiden lukumäärä ja alaindeksi vuosiluku.

TAULUKKO 2. Laskettu käyttövarmuus Suomessa 2005 – 2009 lähtöarvoineen

Valmistaja	2005 - 2009 käyttövarmuus	2005 seisokkiaika	2005 voimalat	2005 käyttövarmuus	2006 seisokkiaika	2006 voimalat	2006 käyttövarmuus	2007 seisokkiaika	2007 voimalat	2007 käyttövarmuus	2008 seisokkiaika	2008 voimalat	2008 käyttövarmuus	2009 seisokkiaika	2009 voimalat	2009 käyttövarmuus
Enercon	98,3 %	1858	7	97,0 %	577	5	98,7 %	624	5	98,6 %	706	6	98,7 %	326	6	98,7 %
STX (Harakosan)	90,9 %	0	0	0,0 %	0	0	0,0 %	0	0	0,0 %	1339	3	94,9 %	3137	3	87,0 %
Siemens (Bonus)	97,3 %	725	6	98,6 %	707	6	98,7 %	1739	6	96,7 %	2307	6	95,6 %	1743	6	96,7 %
Vestas	90,7 %	843	1	90,4 %	1123	1	87,2 %	476	1	94,6 %	0	0	0,0 %	0	0	0,0 %
WinWinD	84,7 %	0	0	0,0 %	0	0	0,0 %	7068	3	73,1 %	9831	10	88,8 %	20518	15	84,3 %
Kaikki	93,0 %	3426	14	97,2 %	2407	12	97,7 %	9907	15	92,5 %	14183	25	93,5 %	25724	30	89,0 %

Ruotsin tuulivoimatilastot

Ruotsissa on kerätty vastaavanlaista tilastoa tuulivoimasta kuin Suomessa, tiedot löytyvät verkkopalvelusta. Ruotsin tilastoista oli jo julkaistu myös vuoden 2009 vuosiraportti, joten käyttövarmuuden laskeminen viiden vuoden ajalta voitiin tehdä pelkästään vuosiraporttien pohjalta. (Driftuppföljning vindkraft 2010.) Tilastoista rajattiin tuulivoimaloiden kokoluokka samalla tavalla kuin Suomen käyttövarmuutta laskiessa ja laskentakaava oli myös sama kuin Suomen käyttövyyttä laskiessa. Tulokset on esitetty taulukossa 3.

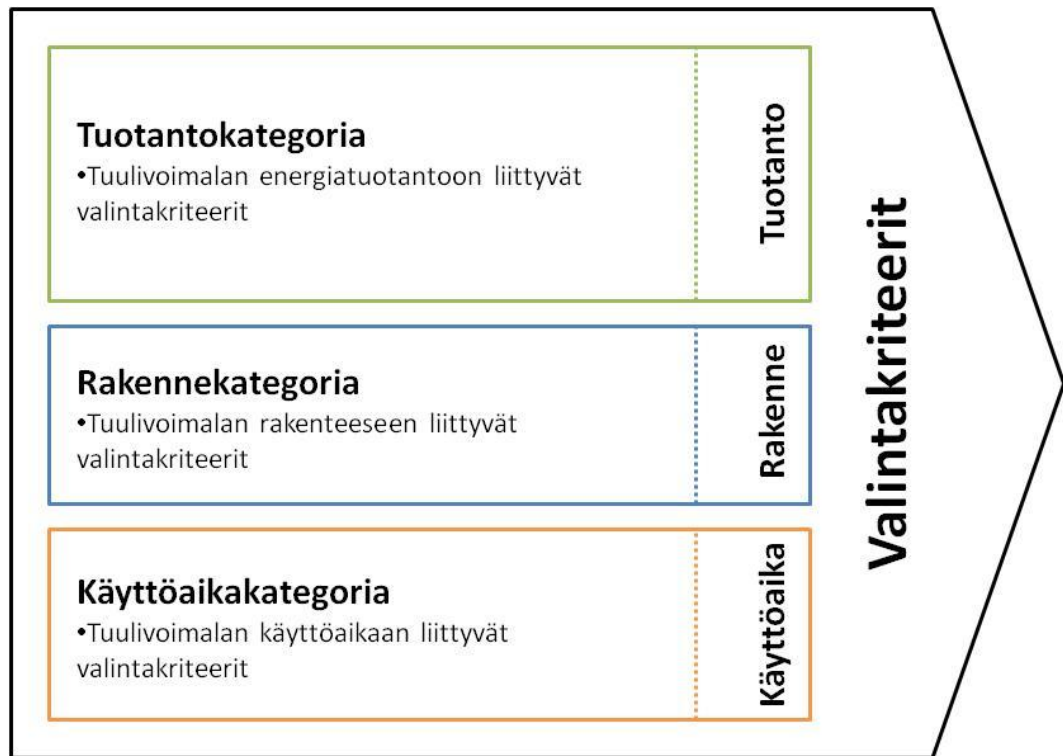
TAULUKKO 3. Laskettu käyttövarmuus Ruotsissa 2005 – 2009 lähtöarvoineen

Valmistaja	2005-2009 käyttövarmuus	2005 seisokkiaika	2005 voimalat	2005 käyttövarmuus	2006 seisokkiaika	2006 voimalat	2006 käyttövarmuus	2007 seisokkiaika	2007 voimalat	2007 käyttövarmuus	2008 seisokkiaika	2008 voimalat	2008 käyttövarmuus	2009 seisokkiaika	2009 voimalat	2009 käyttövarmuus
Enercon	98,4 %	0	6	100,0 %	0	9	100,0 %	0	18	100,0 %	2601	37	99,2 %	16509	63	97,0 %
Nordex	97,9 %	0	0	0,0 %	0	0	0,0 %	0	0	0,0 %	28	2	99,8 %	696	2	96,0 %
Siemens	98,8 %	0	0	0,0 %	0	0	0,0 %	0	48	100,0 %	6420	48	98,5 %	9243	48	97,8 %
Vestas	97,3 %	2911	6	94,5 %	1400	6	97,3 %	2041	22	98,9 %	7819	22	95,9 %	11414	52	97,5 %
WinWinD	100,0 %	0	0	0,0 %	0	0	0,0 %	0	0	0,0 %	0	0	0,0 %	0	2	100,0 %
Kaikki	98,2 %	2911	12	97,2 %	1400	15	98,9 %	2041	88	99,7 %	16868	109	98,2 %	37862	167	97,4 %

4 VERTAILUN TOTEUTUS

4.1 Valintakriteerien suunnittelu

Valintakriteerien suunnittelussa lähtökohtana olivat kerätyt aineistot. Tämä aineisto koostui tuulivoimaloiden teknisistä tiedoista, Suomen ja Ruotsin tuulivoimatilastoista sekä Suomen tuuliatlaksen tuulitiedoista. Valintakriteerit jaettiin kolmeen kategoriaan suunnittelu vaiheessa: tuotanto-, rakenne- ja käyttöaikakriteerit (kuva 5). Tuotantokategoria sisältää energiantuotantoon liittyvät kriteerit, rakennekategoria sisältää tuulivoimalan rakenteellisiin tekijöihin liittyvät kriteerit ja käyttöaikakategoria sisältää voimalan käyttöaikaan liittyvät kriteerit.



KUVA 5. Valintakriteerien kategoriat

Teknisten tietojen osalta, tehokäyrä oli saatavilla vain muutamalta valmistajalta ja näidenkin vertailu osoittautui vaikeaksi, johtuen tehokäyrissä käytetyistä erilaisista tuuliolosuhteista, kuten turbulenssirajoista. Tästä johtuen päädyttiin ratkaisuun, jossa vertailu toteutettaisiin ilman tehokäyriä. Toimintalämpötila-alue puuttui myös useimpien valmistajien tiedoista, tämän johdosta eri voimaloiden kylmä-aikoja eli kylmästä ilmasta johtuvaa voimaloiden seisonta-aikaa ei pystytty vertailemaan.

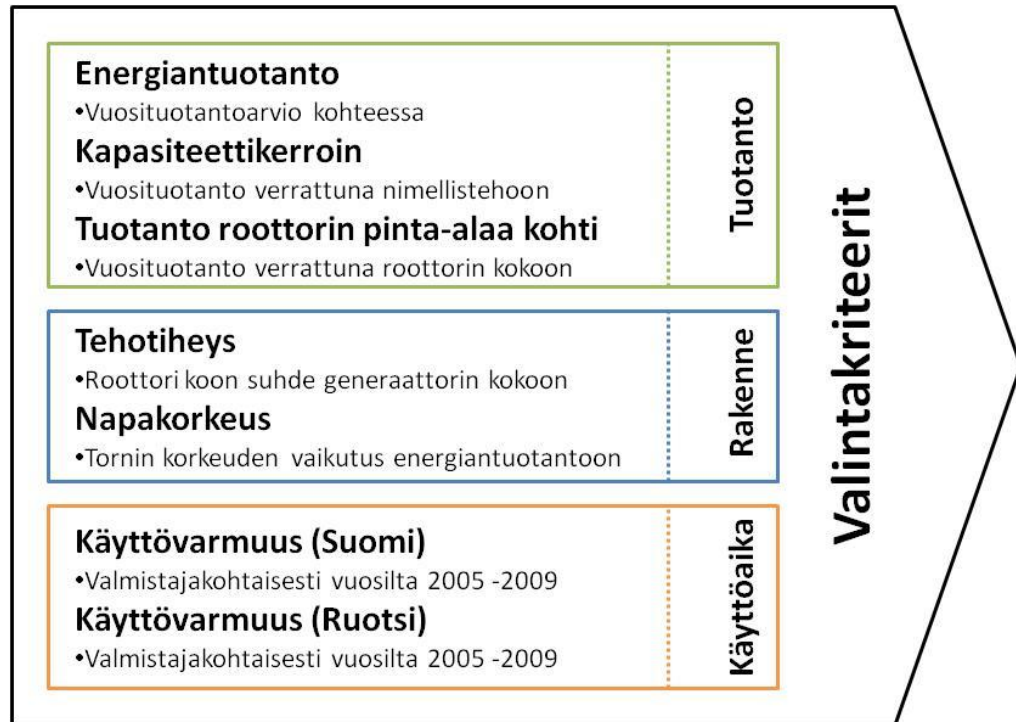
Eri vaihteisto- ja generaattorityyppien vertailemista ei pystytty toteuttamaan opinnäytetyön puitteissa. Syvälinen perehtyminen erilaisiin ratkaisuihin sekä niiden etuihin ja haittoihin olisi vaatinut liian paljon aikaa ja niiden pisteyttäminen olisi ollut vaikeaa.

Edellä mainittujen rajausten jälkeen, valintakriteerien suunnittelussa käytettiin seuraavia teknisiä tietoja tuulivoimaloista:

- Nimellisteho
- Roottorin koko
- Napakorkeus
- Käynnistymisnopeus
- Nimellisnopeus
- Pysäyttämisenopeus

4.2 Valintakriteerien määrittelyt

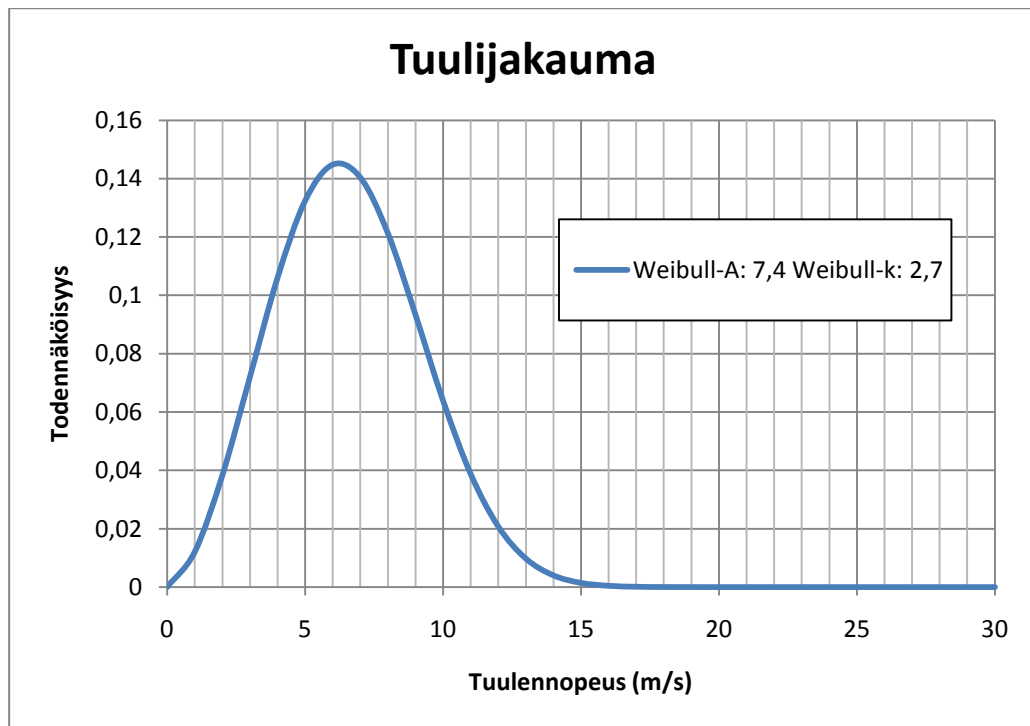
Valintakriteerien suunnittelussa päädyttiin seitsemän kriteerin käyttöön. Ne on esitetty kategorioittain kuvassa 6.



KUVA 6. Suunnitellut valintakriteerit kategorioittain

Energiantuotanto

Energiantuotanto-kriteerin tarkoituksena on kuvata tuulivoimaloiden energiantuotantokykyä heikoissa tuulioloissa ja verrata niitä toisiinsa. Tuotantovertailu toteutettiin niin, että kaikkien voimaloiden napakorkeus oli sama. Tämä on yleinen tapa tuotantovertailuissa. Myös tuulijakauma oli saatavilla vain muutamalta korkeudelta. Näin ollen tornien korkeuksien eroa ei oteta huomioon tässä kriteerissä. Lähtötietoina käytettiin kohteesta valittua tuulijakaumaa 100 metrin korkeudelta: Weibull-A 7,4 ja Weibull-k 2,7. Näin vertailun napakorkeudeksi muodostui 100 metriä. (Taulukko 1.)



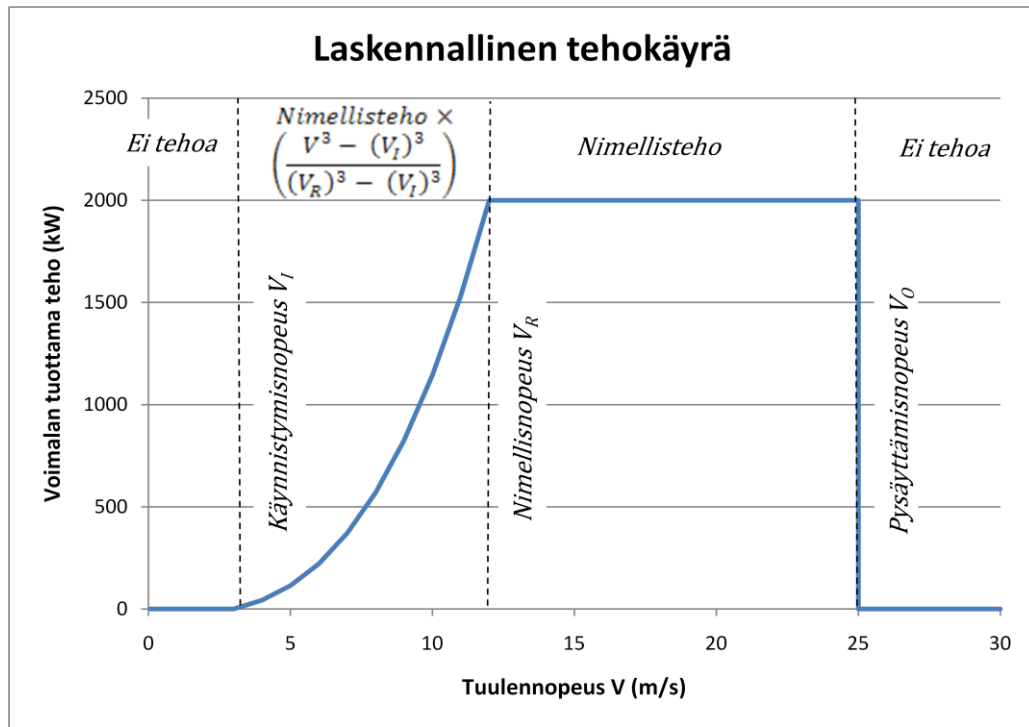
KUVA 7. Käytetty tuulijakama 100 metrin korkeudelta

Kuvasta 7 voidaan todeta, että yleisin tuulennopeus kohteessa on 6 - 7 m/s eikä yli 15 m/s nopeudella puhaltavia tuulia enää esiinny juuri lainkaan. Toinen oleellinen lähtötieto tuotetun energian laskemiseksi on tuulivoimalan tehokäyrä. Tässä kriteerissä käytettiin laskennallista tehokäyrää (Mathew 2006, 146 - 150), jonka laskemiseksi tarvitaan tuulivoimalan nimellisteho sekä käynnistymis-, nimellis- ja pysäyttämisnopeus. Tehokäyrä jaetaan laskennassa neljään osaan: Alle käynnistymisnopeuden sekä yli pysäyttämisnopeuden tuulilla voimala ei tuota tehoa, nimellisnopeuden ja pysäyttämisnopeuden välisellä alueella voimala tuottaa nimellistehon sekä käynnistysmäisnopeuden ja nimellisnopeuden välisellä alueella tuotettu teho lasketaan oheisella kaavalla (Mathew 2006, 146 – 150):

$$P = P_n \cdot \frac{v^3 - v_l^3}{v_R^3 - v_l^3}$$

Kaavassa P on tuotettu teho, P_n nimellisteho, v tuulennopeus, v_l käynnistymisnopeus ja v_R nimellisnopeus.

Kuvassa 8 on esitetty eri osat laskennallisen tehokäyrän laskemiseen.



KUVA 8. Tuulivoimalan laskennallinen tehokäyrä

Tuotantoverailun ajalliseksi kestoksi valittiin yksi vuosi. Tuulijakauman laskennassa käytettiin seuraavanlaista tiheysfunktioita, jolla saatiin esille eri tuulen nopeuksien todennäköisyystiheydet (Mannwell ym. 2009, 59 - 60).

$$F(v) = \frac{k}{A} \cdot \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^k}$$

Kaavassa F on todennäköisyystiheys, v tuulennopeus, A Weibull-jakauman määräparametri ja k Weibull-jakauman muotoparametri.

Tuulivoimalan tuottama teho eri tuulennopeuksilla laskettiin seuraavanlaisella funktiolla.

$$P(v) = \begin{cases} 0, & v < v_I \text{ tai } v > v_O \\ P_r \cdot \frac{v^3 \cdot v_I^3}{v_R^3 \cdot v_I^3}, & v_I \leq v < v_R \\ P_r, & v_R \leq v \leq v_O \end{cases}$$

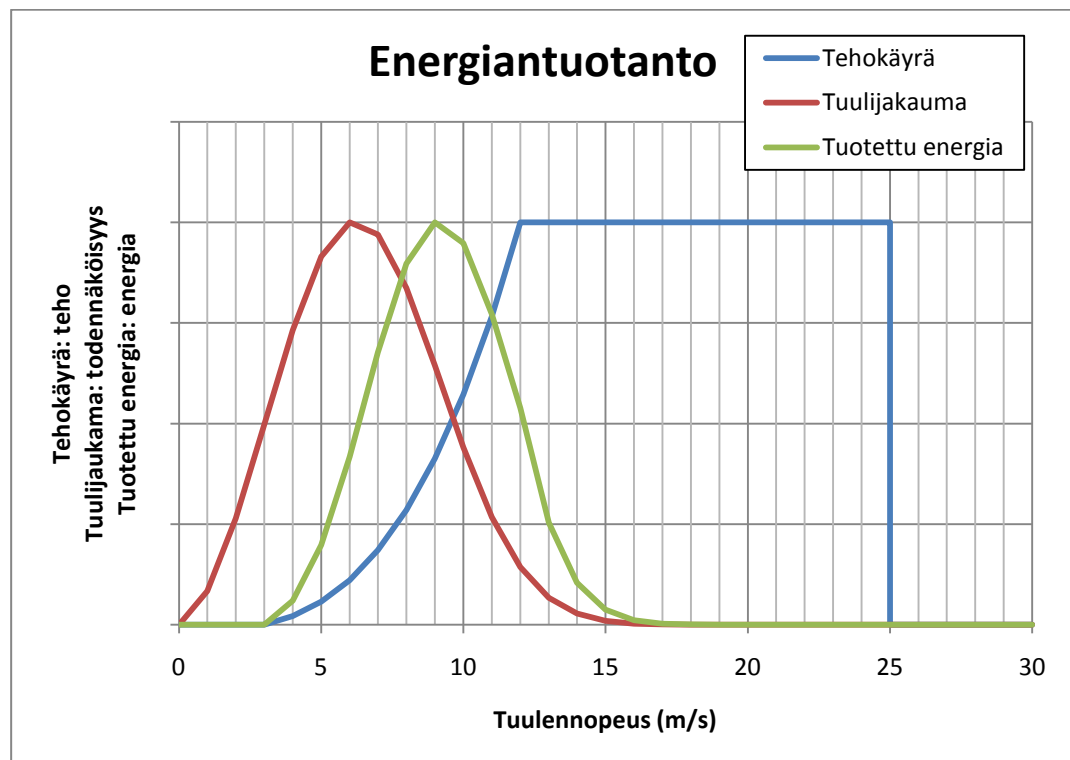
Kaavassa P on tuotettu teho, P_R nimellisteho, v tuulennopeus, v_O käynnistymisnopeus, v_R nimellisnopeus ja v_O pysäyttämisnopeus.

Tuulivoimalan tuottama energia laskettiin kertomalla eri nopeuksilla tuotettu teho tuulennopeuden todennäköisyystiheydellä, summaamalla eri nopeuksien tulokset yhteen ja kertomalla se ajalla seuraavasti (Mannwell ym. 2009, 55).

$$E_a = t_a \cdot \sum_{v=0}^{30} [F(v) \cdot P(v)]$$

Kaavassa E_a on vuotuinen energian tuotanto, t_a aika tunteina (8760 h), v tuulennopeus, $F(v)$ Weibull-jakauman tiheysfunktio ja $P(v)$ tuulivoimalan tuottaman tehon funktio.

Summaoperaattori saa arvot nolasta kolmeen kymmeneen, joka kattaa tarvittavan tuulennopeus alueen kaikkien voimaloiden osalta. Kuvassa 9 on esitetty tuotetun energian syntyminen tuulennopeuden suhteen tuulijakauman ja tuulivoimalan tehokäyrän pohjalta.



KUVA 9. Tehokäyrä, tuulijakauma ja tuotettu energia tuulennopeuden suhteen

Kuvasta 9 voidaan todeta, että tuulivoimala saavuttaa nimellistehon tuulennopeudella 12 m/s ja yleisin tuulennopeus kohteessa on 6 m/s. Eniten energiaa tuotetaan kuitenkin

tuulennopeudella 9m/s, vaikka tällä tuulennopeudella voimala tuottaa alle puolet nimellistehosta. Tässä esimerkissä suurin osa tuotetusta energiasta saadaan tuulennopeuksilla, jotka ovat pienempiä kuin tuulivoimalan nimellisnopeus.

Kapasiteettikerroin

Kapasiteettikerroin kertoo, kuinka hyvin tuulivoimala pystyy hyödyntämään tuulella olevaa energiaa. Siinä verrataan tuotettua energiamäärää tuulivoimalan teoreettiseen maksimi energiamäärään. Korkea kapasiteettikerroin kuvastaa hyvää voimalan valintaa vallitseviin tuulioloihin. (Mathew 2006, 159 - 164). Kuitenkin on hyvä todeta, että korkeamman kapasiteettikertoimen omaava voimala ei aina tuota suurempaa energiamäärää kuin pienemmän kapasiteettikertoimen omaava voimala. Absoluuttista tuotetun energia määrä vertailtiin edellisellä energiantuotanto-kriteerillä.

Kapasiteettikertoimen laskemisessa lähtöarvoina oli vuotuinen energiantuotanto eli edellisin energiantuotanto-kriteerin tulos, nimellisteho ja aika, joka oli yksi vuosi tunteissa eli 8760 tuntia. Näistä lähtöarvoista kapasiteettikerroin laskettiin oheisella tavalla (Mathew 2006, 155 - 156).

$$C_F = \frac{E_a}{P_R \cdot t_a}$$

Kaavassa C_F on kapasiteettikerroin, E_a energian vuosituotanto, P_R nimellisteho ja t_a aika.

Tuotanto roottorin pyyhkäisypinta-alaa kohti

Tässä kriteerissä verrattiin vuosittain tuotettua energiamäärään roottorin pyyhkäisypinta-alaan. Heikkotuulisiin olosuhteisiin suunniteltu tuulivoimala antaa pienen tuotannon pyyhkäisypinta-alaa kohden. Roottorin koko on kuitenkin merkittävä tekijä voimalan kustannuksissa, joten tämä kriteeri on otettu mukaan vertailuun (Burton ym. 2001, 329 - 332.) Tuotanto roottorin pyyhkäisypinta-alaan kohden laskettiin seuraavalla kaavalla (Holtinen & Stenberg 2009, 18).

$$e = \frac{E_a}{A}$$

Kaavassa e on tuotanto pyyhkäisypinta-alaa kohti, E_a vuosituotanto ja A roottorin pyyhkäisypinta-ala.

Niissä tapauksissa, joissa voimalan valmistaja ei ollut ilmoittanut roottorin pyyhkäisypinta-alaa, se laskettiin seuraavalla tavalla roottorin halkaisijasta.

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Kaavassa A on roottorin pyyhkäisypinta-ala ja d roottorin halkaisija

Tehotiheys

Tehotiheys termiä käytetään tässä työssä kuvaamaan roottorin pyyhkäisypinta-alan suhdetta generaattorin kokoon nähden. Heikkotuulisiin olosuhteisiin suunnitelluissa tuulivoimaloissa on suuri roottorin pyyhkäisypinta-ala suhteessa generaattorin kokoon kun taas kova tuulisiin olosuhteisiin suunnitelluissa tuulivoimaloissa on pieni roottorin pyyhkäisypinta-ala suhteessa generaattorin kokoon (Holtinen & Stenberg 2009, 18). Tämän kriteerin tarkoituksen on tuoda esiin ne tuulivoimalat, jotka suunnitteluvalintojen pohjalta soveltuvat parhaiten sisämaan heikkoihin tuulioloihin. Tehotiheys laskettiin roottorin pyyhkäisypinta-alasta ja generaattorin nimellistehosta seuraavalla tavalla.

$$P_A = \frac{A}{P_r}$$

Kaavassa P_A on tehotiheys, A roottorin pyyhkäisypinta-ala ja P_r nimellisteho

Niissä tapauksissa, joissa valmistaja ei ollut ilmoittanut roottorin pyyhkäisypinta-alaa, laskettiin se edellisessä kriteerissä kuvatulla tavalla roottorin halkaisijasta.

Napakorkeus

Tyypillisesti tuulivoimaloiden tuotantoverailut tehdään samalla napakorkeudella kaikille voimaloille, kuten tässäkin työssä tehtiin energiantuotanto-kriteerin kohdalla. Tällöin jää kuitenkin huomioimatta tuulivoimaloiden todellisten napakorkeuksien vaikutus energiantuotantoon. Napakorkeus-kriteerin tarkoituksen on tuoda esille tuulivoimaloiden eri napakorkeuksien vaikutus tuulen nopeuteen ja sitä kautta tuulivoima-

lan tehoon ja tuotantoon. Laskenta perustuu tuulen nopeuden muutoksen teoreettiseen vaikutukseen sekä tehoon että tuotantoon. Lähtötietoina käytettiin kohteesta valittuja tuulitietoja tuulen keskinopeuden osalta 75, 100 ja 150 metrin korkeuksilta, tiedot esitetty taulukossa 1. Korkeuden muutoksen vaikutus tuulennopeuteen laskettiin seuraavalla tavalla (Mathew 2006, 91 -96).

$$v(Z_r) = v(Z) \cdot \frac{\ln\left(\frac{Z_r}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}$$

Kaavassa $v(Z_r)$ on tuulennopeus laskettavalla korkeudella, $v(Z)$ tuulen nopeus vertailukorkeudella, Z_r laskettava korkeus, Z vertailukorkeus ja Z_0 rosoisuusparametri.

Vertailukorkeutena käytettiin 100 metriä, joka oli käytössä myös energiantuotantokriteerissä. Yllä olevasta kaavasta ratkaistiin ensiksi Z_0 sekä vertailukorkeuden yläpuoliselle että alapuoliselle korkeudelle. Vertailussa käytetty Z_0 arvo valittiin näiden välistä niin, että tuulennopeus on tarkasti kohdallaan vertailukorkeudessa ja voi hieman heittää ääripäissä, heiton ollessa kuitenkin alle 0,9 %. Rosoisuusparametrin arvoksi muodostui näin 1,5 metriä, joka oli yksi käytetyistä lähtötiedoista tuulennopeuden laskemiseksi halutulta korkeudelta. Muut lähtötiedot olivat vertailukorkeus 100 metriä, tuulennopeus vertailukorkeudella 6,6 m/s sekä haluttu korkeus tuulennopeuden selvittämiseksi.

Tuulennopeuden vaikutus tuulivoimalan tuottamaan tehoon ja tuotantoon laskettiin seuraavalla tavalla.

$$P_F = \frac{v_r^3 - v^3}{v^3}$$

Kaavassa P_F on energiatuotannon muutos, v tuulennopeus vertailutasossa, v_r tuulennopeus todellisella napakorkeudella.

Käyttövarmuus Suomessa

Käyttövarmuus Suomessa -kriteerissä käytettiin valmistajakohtaisia käyttövarmuusarvoja vuosien 2005 - 2009 ajalta, jotka on laskettu luvussa 5.3.1 kuvatulla tavalla (tau-

lukko 2). Käyttövarmuusajat ovat laskettu seisokkiajan mukaan, eikä niissä ole mukana liian pienestä tai suuresta tuulesta tai liian kylmästä ilmasta johtuvaa seisontaa, vaan ne ovat osa laitoksen suunniteltua toimintaa. Tämän kriteerin tarkoituksena on tuoda esille valmistajakohtaiset erot käyttövarmuudessa Suomessa toimivien vastaavan kokoluokan voimaloiden osalta. Eri valmistajille lasketut käyttövarmuudet ovat:

- 98,3 % Enercon
- 90,9 % STX (Harakosan)
- 97,3 % Siemens (Bonus)
- 90,7 % Vestas
- 84,7 % WinWinD

Käyttövarmuus Ruotsissa

Käyttövarmuus Ruotsissa -kriteeri on periaatteeltaan vastaava kuin käyttövarmuus Suomessa -kriteeri. Ruotsissa on myös viiden eri valmistajan tuulivoimaloita käytössä vertailun kokoluokassa. Eri valmistajille lasketut käyttövarmuudet ovat:

- 98,4 % Enercon
- 97,9 % Nordex
- 98,8 % Siemens
- 97,3 % Vestas
- 100,0 % WinWinD

4.3 Valintakriteerien painotus

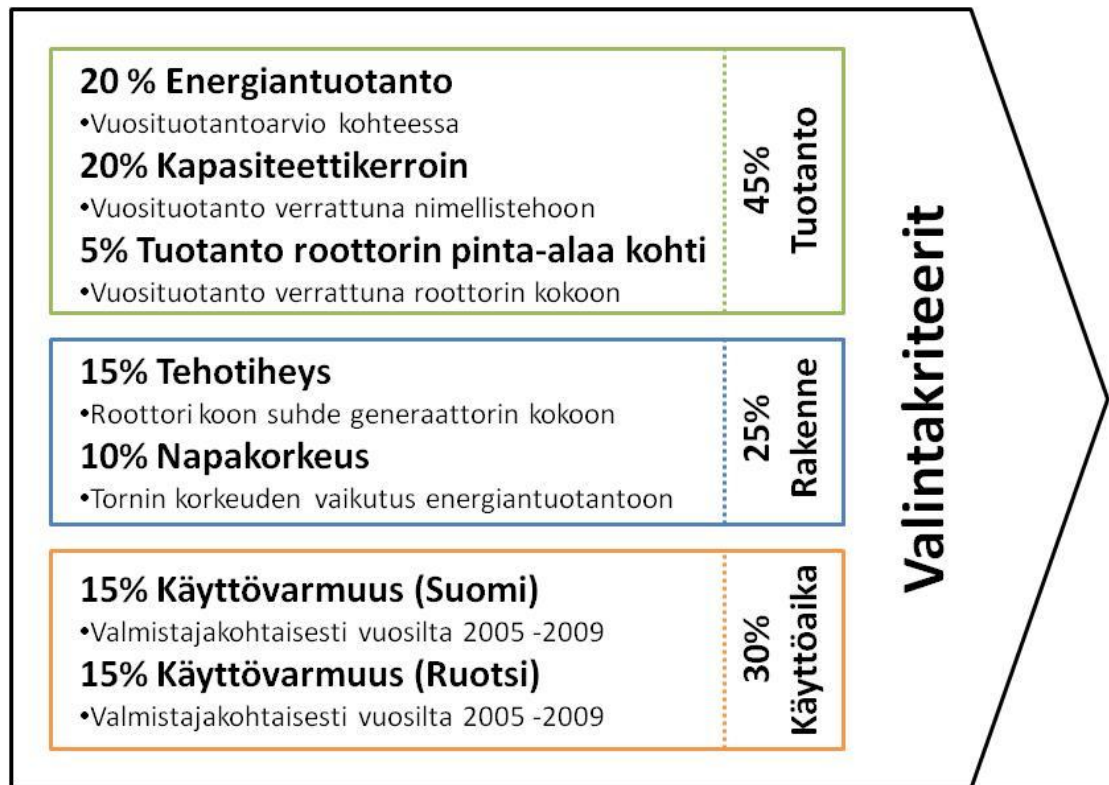
Valintakriteerien painotuksia suunniteltaessa lähtökohtana oli karkea jako niin, että tuotantokategorialla olisi noin puolet kokonaispainoarvosta ja muiden kriteerien yhteispainoarvo olisi myös noin puolet kokonaispainoarvosta. Tämä johtui siitä, että tuotantokyky nähdään merkittävänä tekijänä tuulivoimahankeen suunnittelussa. Suunnittelun lopputuloksena päädyttiin seuraavanlaisiin painotuksiin eri kategorioiden osalta: tuotanto-kategoria 45 %, rakenne-kategoria 25 % ja käyttöaika 30 % (kuva 10).

Tuotanto-kategorian sisällä painotukset muodostuivat seuraaviksi: energiantuotanto 20 %, kapasiteettikerroin 20 %, tuotanto roottorin pinta-alaa kohti 5 % (kuva 10). Absoluuttista tuotantomäärää kuvaavan energiantuotanto valintakriteerin painoarvo haluttiin pitää suhteellisen korkeana vaikka se suosii isoja voimaloita ja vertailussa on mukana

hyvin monen kokoisia voimaloita. Tämä johtui siitä, että suunnitellussa kohteessa voimaloiden kokonaismäärä on rajoitettu kahteen kappaleeseen ja näin ollen tuotantomäärää ei voida kasvattaa lisäämällä voimaloiden lukumäärä. Kapasiteettikertoimelle annettiin vastapainona samansuuruinen merkitys, jolloin tuotannon määrä suhteutettuna voimalaan kokoon tuli myös merkittävästi esille vertailussa. Tuotanto roottorin pyyhkäisyypinta-alaa kohti -kriteeri suosii koviin tuulioloihin suunniteltuja tuulivoimaloita, mutta se haluttiin pitää vertailussa mukana pienellä merkityksellä siitä syystä, että roottorin koko on merkittävä tekijä voimalan kustannusrakenteessa.

Rakenne-kategoriassa painotukset jakautuivat kahden valintakriteerin kesken, tehotehys-kriteeri sai painoarvoksi 15 % ja napakorkeus-kriteeri sai loput 10 % (kuva 10). Tehotehys-kriteeri nähtiin tärkeänä tekijänä kuvaamaan voimalle suunnittelua tuulioloa, joten sille annettiin melko iso painotus. Napakorkeus nähtiin myös tärkeänä tekijänä, mutta kun sen vaikutusta kustannusrakenteeseen ei pystytty tarkastelemaan, sille annettiin hieman pienempi painotus.

Käyttöaika-kategoriassa 30 % kokonaispainoarvo jakautui tasan Suomen ja Ruotsin käyttövarmuus -kriteerien kesken (kuva 10). Vaikka Ruotsin käyttövarmuustiedoissa oli mukana monikertaisesti tuulivoimaloita Suomen käyttövarmuustietoihin verrattuna, sen ei nähty vaikuttavan kriteerin merkitykseen, vaan päätettiin pitää painoarvojen jako yhtä suurena. Kokonaispainoarvossa päädyttiin 30 % siitä huolimatta, että normaalisti tuulivoimaloiden seisokit eivät vaikuta näin suuresti kokonaistulokseen. Tällä haluttiin korostaa sitä, että tuulivoimaloiden sopivuus Suomea vastaaviin olosuhteisiin on varmistettu sekä huolto- ja ylläpitopalvelut kyseisille valmistajille löytyvät lähialueilta.



KUVA 10. Valintakriteerien painotukset kategorioittain ja kriteerikohtaisesti

4.4 Valintakriteerien pisteytys

Valintakriteerien pisteytys toteutettiin niin, että vertailtavat tuulivoimalat pisteytettiin nolasta kymmeneen pisteeseen jokaisen valintakriteerin osalta niin, että paras tulos saa täydet kymmenen pistettä ja huonoin tulos nolla pistettä. Muiden voimaloiden tulokset pisteytettiin lineaarisesti näiden väliin valintakriteeristä saadun tuloksen perusteella. Tässä vertailussa ei vertailtu valintakriteerien tuloksia ennalta asetettuihin kiinteisiin raja-arvoihin ja siitä johtuen voimalan saama pistemäärä riippuu muusta vertailuryhmästä. Näin saatiin verrattua vertailuryhmän tuulivoimaloita keskenään ja muodostumaan eroja ryhmän sisällä.

Kaikkien valmistajien tuulivoimaloita ei ole käytössä Suomessa tai Ruotsissa, joten niille ei ollut myöskään käytettävissä käyttövarmuusarvoja. Niille täytyi määritellä jokin minimiarvo. Tämä siitä syystä, että saatiin pisteytystä varten minimiarvo ja samalla kavennettua arvostelualuetta, jotta tuulivoimaloiden erot tulisivat paremmin esille. Minimiarvoksi valittiin 80 %, joten pisteytys tehtiin Suomen käyttövarmuuden osalta alueella 80,0 % - 98,3 % ja Ruotsin käyttövarmuuden osalta alueella 80,0 % - 100,0 %

4.5 Vertailutaulukko

Teknisesti opinnäytetyössä tehty vertailu toteutettiin Excel-ohjelman laskentatauluk-
kona. Laskentataulukoon tehtiin valintakriteerikohtaiset laskelmat, kokonaistuloksen
laskenta valintakriteerien painoarvojen perusteella ja tuulivoimaloiden teknisten tieto-
jen hallinta. Valintakriteerikohtaisiin laskelmiin implementoitiin edellä esiteltyjen
valintakriteerien laskentakaavat ja niihin tarvittavat syötteen esimerkiksi tuulijakauma.
Yhteistuloksen laskenta toteutettiin yksittäisten valintakriteerien pisteytys sekä niiden
pohjalta painotetun kokonaistuloksen laskenta edellä esitettyjen valintakriteerien pai-
notusten mukaisesti (kuva 11).

		Kokonaistulokset		1) Energiantuotanto (vuosi)		2) Kapasiteettikerroin	
Painoarvo	100 %			Painoarvo	20 %	Painoarvo	20 %
				Max	9354	Max	31,9 %
				Med	4272	Med	20,3 %
				Avg	4592	Avg	20,7 %
				Min	2415	Min	11,6 %
Valmistaja	Malli	Sijoitus	Pisteet	Sijoitus	(MWh)	Pisteet	Sijoitus (%)
Acciona	AW-116/3000	3	5,7	2	8190	8,3	2 31,2 %
Alstom	ECO 110	16	3,5	5	5992	5,2	11 22,8 %
Clipper	Liberty C96	37	1,2	33	3330	1,3	34 15,2 %
Clipper	Liberty C100	35	1,7	25	3725	1,9	32 17,0 %
DeWind	D8.2	40	0,6	39	2415	0,0	37 13,8 %
e.n.o.	e.n.o. 82	32	2,0	34	3191	1,1	26 18,2 %
e.n.o.	e.n.o. 92	28	2,5	30	3510	1,6	26 18,2 %
Enercon	E82	1	6,3	21	4134	2,5	10 23,6 %
Fuhrländer	FL 2500	16	3,5	10	5335	4,2	9 24,4 %
Gamesa	G90-2.0 MW	31	2,1	34	3191	1,1	26 18,2 %
Gamesa	G128-4.5 MW	37	1,2	39		0,0	39
GE Energy	2.5xl	25	2,7	18	4450	2,9	18 20,3 %

KUVA 11. Näkymä kriteerien pisteytyksestä ja yhteistuloksen laskennasta

Vertailutaulukon uudelleen käyttöön varauduttiin niin, että muutosten hallinta toteu-
tettiin helppokäyttöiseksi. Tuulivoimaloiden lisäys ja poisto tai teknisten tietojen muu-
tos onnistuu omalta sivultaan. Myös valintakriteerien painoarvojen vaihto ja niiden
lisääminen tai poistaminen onnistuu samalla tavalla. Näin vertailutaulukkoa voi sovel-
taa helposti uusiin vertailuihin.

5 VERTAILUN TULOKSET

5.1 Yksittäisten valintakriteerien tulokset

Yksittäisten valintakriteerien tulokset pisteineen löytyvät liitteestä 2. Energiantuotanto-valintakriteerin kohdalla odotetun hyvin pärjäsivät isot voimalat. Molemmat mukana olleet 5 MW tehoiset voimalat sijoittuvat kärkeen, sijoille yksi ja kolme. Toinen sija sekä sijat neljännessä seitsemänteen menivät vastaavasti 3 MW tehoisille voimaloille. Myös erot vuosituotannon arvioissa muodostuivat todella isoiksi vertailuryhmän kesken, pienen tulos oli 2415 MWh ja isoin tulos 9354 MWh eli melkein nelinkertainen pienimpään verrattuna. Vertailuryhmän mediaanitulos oli 4272 MWh.

Kapasiteettikerroin-valintakriteerissä erot tuulivoimaloiden välillä hieman tasoittuivat. Useimmat isoista voimaloista tippuivat kymmenen kärjestä ja sinne nousi mukaan useita pienempitehoisia voimaloita. Pienimmän ja isoimman tuloksen ero ei ollut aivan niin suuri kuin energiantuotanto-kriteerissä. Pienin tulos oli 11,6 % ja paras tulos oli 31,9 % parhaimman tuloksen ollessa lähes kolminkertainen huonoimpaan verrattuna. Mediaanitulos vertailuryhmän kesken oli 20,3 %.

Tuotanto roottorin pyyhkäisypinta-alaa kohti -valintakriteerin kohdalla kymmenen kärjessä olivat yhtä voimalaa lukuun ottamatta samat voimalat kuin kapasiteettikerroin kohdalla, järjestyksen tosin hieman vaihtuessa. Myös erot voimaloiden kesken hieman tasoittuivat, huonoin tulos oli 413 kWh/m² ja paras tulos oli 885 kWh/m². Eli paras tulos oli enää hieman yli kaksi kertaa parempi kuin huonoin tulos. Mediaanitulos oli 599 kWh/m² vertailuryhmän kesken.

Tehotiheys-kriteerin osalta yksi voimala erottui selvästi muista; se sai tulokseksi 4,36 m²/kW, kun toiseksi paras voimala sai tulokseksi 3,53 m²/kW ja huonoin tulos oli 2,11 m²/kW. Vertailuryhmään kuuluneiden 40 tuulivoimalan joukossa, mediaanitulos oli 3,12 m²/kW ja 36 voimalan tehotiheys oli alueella 2,5 - 3,5 m²/kW.

Napakorkeus-kriteerissä erot voimaloiden välillä muodostuivat yllättävänkin suuriksi. Suurin parannus tuotantoon oli 24,8 % ja isoin heikennys tuotantoon oli -17,5 %. Joten vaikka kaksi samanlaista voimalaa asennettaisiin näihin torneihin, niin ylempänä oleva (138 m) voimala tuottaisi 1,5 kertaa enemmän energiaa kuin matalammalla ole-

va (77 m) voimala. Kaksitoista voimalaa vertailuryhmässä oli napakorkeudeltaan sama kuin 100 metrin vertailukorkeus, joten niiden kohdalla muutos oli 0,0 %. Se oli myös mediaanitulos tämän kriteerin kohdalla.

Käyttövarmuus Suomessa -valintakriteerin kohdalla valmistajien erot muodostuivat suuriksi. Paras käyttövarmuus oli 98,3 % ja heikoin käyttövarmuus oli 84,7 %. Näin suurella erolla on jo iso vaikutus tuulivoimalan vuosituotantoon. Kahden parhaan käyttövarmuus oli 97- 98 prosentin luokkaa ja kahden seuraavan noin 91 % ja viidentenä tuli heikoin tulos noin 85 %. Muiden valmistajien kohdalla käytettiin tuloksena 80,0 %, jonka myötä ne eivät saaneet yhtään pistettä tästä kriteeristä.

Käyttövarmuus Ruotsissa -kriteerissä valmistajien erot olivat huomattavasti pienemmät kuin Suomen käyttövarmuudessa ja kokonaisuutena käyttövarmuudet olivat parempia kuin Suomessa. Paras tulos oli täydet 100,0 %, muiden neljän valmistajan käyttövarmuudet olivat välillä 99 – 97 %, huonoimman tuloksen ollessa 97,3 %. Lopuille valmistajille käytettiin tuloksena 80,0 % saman lailla kuin Suomen kohdalla. Tästä johtuen Ruotsin käyttövarmuudesta tuli melko korkeat pisteet kaikille mukana olleille valmistajille, pienimmän pistemäärän ollessa 8,7 / 10 pistettä. Suomen käyttövarmuuden kohdalla pienin pistemäärä oli 2,6 / 10 pistettä.

5.2 Vertailun kokonaistulokset

Vertailun kokonaistulokset löytyvät kokonaisuudessaan liitteestä 3. Vertailussa parhaiten menestynyt tuulivoimalamalli keräsi 6,3 pistettä 10 mahdollisesta pisteestä, vastaavasti heikoiten menestynyt tuulivoimalamalli keräsi vain 0,6 pistettä eli alle kymmenesosan siitä, mitä parhaiten menestynyt sai. Tämä ei tarkoita, että kyseinen voimala olisi näin paljon huonompi. Ero johtuu pisteytyksen toteutuksesta, jossa aina ryhmän heikoin jäi pisteittä, ottama kantaa siihen, kuinka iso ero siitä oli parhaiten menestyneeseen voimalaan. Mutta toisaalta ero kertoo sen, että parhaiten menestynyt voimala sopii huomattavasti paremmin vertailussa käytettyihin olosuhteisiin kuin heikoiten menestynyt voimalamalli. Kokonaispisteiden mediaani sekä keski-arvo vertailuryhmän kesken oli 3,0 pistettä, joten vertailtavien tuulivoimaloiden kokonaispisteet jakautuivat melko tasaisesti parhaiten ja heikoimmin menestyneiden voimaloiden väliin.

Tuotanto- kategoria 45%			+	Rakenne- kategoria 25%			+	Käyttöaika- kategoria 30%			=	Painotettu yhteistulos 100%		
Sij.	Valmistaja ja malli	Pis.		Sij.	Valmistaja ja malli	Pis.		Sij.	Valmistaja ja malli	Pis.		Sij.	Valmistaja ja malli	Pis.
1	Acciona AW-116/3000	4,0		1	Vestas V90-1.8MV	1,8		1	Enercon E82	2,9		1	Enercon E82	6,3
2	Multibrid M5000	3,5		1	Vestas V100-1.8MV	1,8		2	Siemens SWT-2.3-101	2,8		2	Vestas V112-3.0MV	6,0
3	Hyundai HQ 2000	3,4		3	Acciona AW-116/3000	1,7		2	Siemens SWT-3.6-107	2,8		3	Acciona AW-116/3000	5,7
4	Sinovel SL3000/113	2,9		4	Vestas V112-3.0MV	1,5		4	Vestas V100-1.8MV	2,2		4	Vestas V90-1.8MV	5,3
5	STX STX 93	2,8		4	Vestas V90-2.0MV	1,5		4	Vestas V90-1.8MV	2,2		4	Vestas V100-1.8MV	5,3
5	Wikov W2000	2,8		6	Sinovel SL3000/113	1,4		4	Vestas V112-3.0MV	2,2		6	Vestas V90-2.0MV	5,2
7	Hyundai AV 928	2,7		6	Enercon E82	1,4		4	Vestas V90-2.0MV	2,2		7	Siemens SWT-2.3-101	5,0
8	Hyosung HS90	2,5		6	e.n.o. e.n.o. 92	1,4		4	Vestas V90-3.0MV	2,2		8	STX STX 93	4,7
9	Alstom ECO 110	2,4		9	Wikov W2000	1,3		9	WinWinD WWD-3 D103	1,9		9	WinWinD WWD-3 D103	4,4
9	Fuhrländer FL 2500	2,4		10	REpower MM92	1,2		9	WinWinD WWD-3 D100	1,9		10	Siemens SWT-3.6-107	4,3
9	REpower 5M	2,4		10	Gamesa G128-4.5 MW	1,2		11	Nordex N100/2500	1,4		10	WinWinD WWD-3 D100	4,3
9	Unison U93	2,4		12	STX STX 93	1,1		11	Nordex N90/2500 LS	1,4		10	Sinovel SL3000/113	4,3
13	Vestas V112-3.0MV	2,3		12	Alstom ECO 110	1,1		13	STX STX 93	0,9		10	Hyundai HQ 2000	4,3
14	Enercon E82	2,0		12	Fuhrländer FL 2500	1,1		14	Acciona AW-116/3000	0,0		14	Wikov W2000	4,0
15	REpower 3.XM	1,9		12	GE Energy 2.5xl	1,1		14	Sinovel SL3000/113	0,0		15	Nordex N100/2500	3,7

KUVA 12. Kolmen parhaiten sijoittuneen kokonaistulosten muodostuminen

Tarkasteltaessa kokonaistuloksien muodostumista kategorioittain, voidaan todeta, että yksikään tuulivoimala malli ei hallinnut kaikkia osa-alueita, vaan tulokset menivät näiden osalta ristiin. Kuvassa 12 on esitetty kolmen parhaiten sijoittuneen tuulivoimamallin kokonaispisteiden muodostuminen kategorioittain, josta tulosten ristiin meno voidaan selvästi todeta.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tekemisessä ohjaavana tekijänä oli haastavaksi asetettu aikataulutavoite, tulosten täytyi olla valmiina hieman yli kahden kuukauden päästä siitä, kun sopimus opinnäytetyön tekemisestä oli tehty toimeksiantajan kanssa. Tämän johdosta jouduttiin tekemään karsintaa valintakriteerien osalta ja viemään työtä eteenpäin suoraan viivaisesti muillakin osa-alueilla. Mutta toisaalta, haastavan aikataulutavoitteen johdosta, tulokset saatiin toimeksiantajan käyttöön hyvin nopeasti verrattuna tarjouskilpailun kautta tapahtuvaan vertailuun. Juuri nopeasti saatavat tulokset olivat se tekijä, jonka takia opinnäytetyössä suoritettu vertailu päätettiin tehdä ennen varsinaista tarjouskilpailua.

Tuulivoimalavalmistajien kartoituksen kautta syntyi hyvä näkemys tuulivoimateollisuuden kehityssuunnasta ja kasvusta paljon entistä suuremmaksi liiketoiminnaksi.

Mukaan on tullut paljon uusia toimijoita Aasian alueelta eritoten Etelä-Koreasta, Kii-

nasta ja Intiasta. Joukossa on isoja perinteisiä teollisuusyhtiöitä, jotka ovat ostaneet markkinoilta jonkun tuulivoima yhtiön, useimmiten Euroopasta. Tuulivoimalamallien valinta vertailuun taas tarjosi erinomaisen käsityksen valmistajien tuotevalikoimasta, josta löytyvät eri tuuliolosuhteisiin tarkoitetut voimalamallit. Eritoten siitä, miten ne eroavat toisistaan ja kuinka monella erilaisella mallilla valmistaja kattaa tavoitellun tuuliolosuhde alueen. Kartoituksen myötä syntynyt listaus tuulivoimala-valmistajista ja -malleista tarjosi toimeksiantajalle laajan perustan valintaprosessin pohjaksi.

Valintakriteerien suunnittelun ja vertailun toteutuksen myötä esille nousi tekijöitä, joita kannattaa mahdollisuuksien mukaan hyödyntää myös tehtäessä valintoja tarjouskilpailuvaiheessa. Erityisesti napakorkeuden vaikutus vuosittaiseen energiatuotantoon on merkittävä. Tämä on selvää teoreettisen perustan mukaan, mutta johtuen tuulimitauksista, jotka tehdään käytännössä yhdeltä valitulta napakorkeudelta, vuosituotannon vertailu toteutetaan kaikille voimaloille tällä samalla korkeudella riippumatta todellisesta napakorkeudesta. Näin napakorkeuden vaikutus jää pois tehtäessä tuotantovertailuja. Toisaalta tornien korkeuden kustannusvaikutus on syytä arvioida osana saatavaa hyötyä.

Käyttövarmuus tietojen kerääminen vuosilta 2005 - 2009 ja niiden pohjalta tehdyt laskelmat valmistajakohtaisista käyttövarmuuksista antoivat selkeän käsityksen tuulivoimalan toimintavarmuudesta suurtuulivoimaloiden osalta. Lisäksi se tarjosi kattavan näkymän suurtuulivoimalakapasiteetin kehityksestä Suomessa ja Ruotsissa viimeisen viiden vuoden ajalta. Toimeksiantaja pystyy hyödyntämään käyttövarmuusarvoja myös tarjouskilpailuvaiheessa sekä arvioidessa todellisia voimaloiden vuosituotantoja ja niihin liittyviä riskitekijöitä.

Vertailun suurimmat epävarmuustekijät liittyvät energiantuotannon laskemiseen, joka johtui siitä, että laskennallisissa tehokäyrässä nimellismopeudella on merkittävin vaikutus tulokseen. Valmistajien käytännöissä määritellä ja ilmoittaa nimellismopeus vaikutti olevan eroa, joidenkin kohdalla nimellismopeudeksi ilmoitettiin tuulenopeus, jolloin tuotettu teho on riittävän lähellä nimellistehoa ja toisten kohdalla taas se tuulenopeus, jolla tuotettu teho vastasi täsmällisesti nimellistehoa. Lisäksi laskettua vuosituotantoa käytettiin myös kahdessa muussa tuotantokategorian valintakriteerissä, joten epävarmuus periytyi niihin. Rakenneteknologiaa päästiin huomattavasti pienempään epävarmuuteen, näin tulokset niiden valintakriteerien osalta ovat luotetta-

vampia. Käyttöaikakategoriaan kuuluvien käyttövarmuus kriteerien tulosten luotettavuus vastaa Suomen ja Ruotsin tuulivoimatilastojen luotettavuutta.

Kokonaisuutena tulosten luotettavuus arvioitiin kohtuullisen hyväksi, mutta sisältävän sen verran epävarmuustekijöitä, ettei ehdotettujen tuulivoimaloiden määrä pystytty karsimaan vertailun tulosten pohjalta aivan niin pieneksi kuin alun perin oli tavoiteltu. Toimeksiantajalle ehdotettiin lopulta tarjouskilpailuun kuuden valmistajan ryhmää, joka muodostui vertailun kokonaistulosten yhdeksän parhaiten menestyneen voimalan valmistajista. Lisäksi esille tuotiin neljä muuta valmistajaa, joiden voimaloiden tulokset olivat sijoilla kymmenestä viiteentoista. Ehdotus sisälsi valmistajat, mutta ei tuulivoimalamalleja. Sopivimman tuulivoimalamallin valinta valmistajan tuotevalikoimasta jätettiin tehtäväksi seuraavassa valintaprosessissa yhteistyössä valmistajan kanssa.

Vertailutaulukon ja kriteerien uudelleen käyttö onnistuu suhteellisen helposti toisessa heikkojen tuulien kohteessa vaihtamalla tuulijakauma sopivaksi. Kovien tuuliolojen kohteessa, muutoksia on tehtävä tuulijakauman lisäksi rakennekategoriassa. Tehotiheys-kriteeri menettää merkityksensä ja napakorkeus-kriteerin painoarvo laskee.

Vertailumenetelmän edelleen kehityksessä voisi parantaa kriteerien kattavuutta tuomalla mukaan uusia valintakriteerejä liittyen esimerkiksi vaihteisto- ja generaattoriratkaisuihin. Jos vertailun tekemiseen olisi käytettävissä pidempi aika, niin tuulivoimaloiden kartoituksessa voisi olla yhteyksissä valmistajiin. Tällöin voisi vertailla valmistajien toimitusaikoja voimaloille ja karsia joukosta pois valmistajat, jotka mahdollisesti eivät ole halukkaita tarjoamaan tuulivoimaloita syystä tai toisesta. Samalla voisi saada tarkennuksia teknisiin tietoihin. Todellisen tehokäyrän avulla voisi parantaa tuotantokategorian tulosten luotettavuutta. Lisäksi toimintalämpötila alueen avulla voisi vertailla eri tuulivoimaloiden kylmästä ilmasta johtuvaa seisonta-aikaa. Tuomalla talouspuolen mukaan valintakriteereihin, vertailumenetelmästä voisi kehitellä työkalun, joka soveltuu myös tuulivoimalamallin lopulliseen valintaan.

Yleisesti tuulivoiman hyödyntämistä sisämaassa voisi tutkia laajemminkin, perinteisten rannikko- ja merialueiden lisäksi. Tuulivoimaloiden koon kasvaessa, tuulivoiman hyödyntämisen edellytykset paranevat sisämaankin kohteissa ja monesti myös perustamiskustannukset tulevat edullisemmiksi kuin rannikko- ja merivoimaloissa. Tuulivoimalan maisema- ja meluhaitat voivat olla pienemmät sisämaassa kuin muissa koh-

teissa. Valtion tukitoimien alkaessa tuulivoimalle, myös tuen alueellinen jakautuminen tulee herättämään keskustelua.

Arvioitaessa opinnäytetyöprosessia kokonaisuutena sopimuksen teosta opinnäytetyön valmistumiseen, voidaan todeta, että se tarjosi tekijälle erinomaisen ja kattavan läpikäynnin tuulivoimasta ja sen hyödyntämisestä. Työn aikana tuli tutuksi tuulivoimalan toimintaperiaate ja erilaiset käytössä olevat rakenneratkaisut. Valintakriteerien kehittämisessä selveni tuulivoiman tuotantoon liittyvät laskentaperiaatteet sekä eri ominaisuuksien vaikutukset suorituskykyyn. Opinnäytetyö tarjosi myös hyvän yleiskuvan tuulivoiman kehityssuunnasta ja lähihistoriasta niin maailmanlaajuisesti kuin Suomen ja Ruotsin osalta. Näin voidaan lopuksi todeta, että opinnäytetyö täytti tehtävänsä tältä osin loistavasti.

LÄHTEET

Burton, Tony, Sharpe, David, Jenkins, Nick & Bossanyi, Ervin 2001. Wind energy handbook. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Energimyndigheten 2010. Driftuppföljning vindkraft. Verkkosivusto. www.vindstat.nu. Ei päivitystietoa. Luettu 18.3.2010.

European Wind Energy Association 2008. Wind Energy - The Facts. Verkkosivusto. www.wind-energy-the-facts.org. Ei päivitystietoa. Luettu 2.2.2010

Holtinen, Hannele, Stenberg, Anders 2009. Tuulivoiman tuotantotilastot Vuosiraportti 2008. Espoo: VTT.

Ilmatieteenlaitos 2009. Suomen tuuliatlas, Verkkosivusto. www.tuuliatlas.fi. Päivitetty 25.11.2009. Luettu 8.2.2010.

Mannwell, James, McGowan, Jon & Rogers, Anthony 2009. Wind energy explained: theory, design and application. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Mathew, Sathyajith 2006. Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics. Berlin: Springer.

Työ- ja elinkeinoministeriö 2008. Vuoden 2008 ilmasto- ja energiastrategia. Verkkosivu. <http://www.tem.fi/index.phtml?s=2658>. Päivitetty 11.11.2008. Luettu 24.5.2010.

VTT 2010. Suomen tuulivoimatilastot. Verkkosivusto. www.vtt.fi/proj/windenergystatistics. Ei päivitystietoa. Luettu 10.3.2010.

LIITE 1(1).
Tekniset tiedot

Valmistaja	Malli	Nimellis- teho (kW)	Rootorin halkaisija (m)	Pyyhkäisy- pinta-ala (m ²)	Korkein napa- korkeus (m)	Käynnisty- misnopeus (m/s)	Nimellis- nopeus (m/s)	Pysäyttä- misnopeus (m/s)	Lähde
Acciona	AW-116/3000	3000	116	10568	120	3	10,6	20	www.acciona-energia.com
Alstom	ECO 110	3000	110	9469	100	3	12	25	www.power.alstom.com
Clipper	Liberty C96	2500	96	7238	80	4	13,5	25	www.clipperwind.com
Clipper	Liberty C100	2500	100	7854	80	4	13	25	www.clipperwind.com
DeWind	D8.2	2000	80	5027	80	4,9	13,5	25	www.dewind.de
e.n.o.	e.n.o. 82	2000	82,4	5333	108	3	13	25	www.eno-energy.com
e.n.o.	e.n.o. 92	2200	92,8	6764	123	3	13	25	www.eno-energy.com
Enercon	E82	2000	82	5281	138	2	12	25	www.enercon.de
Fuhrlander	FL 2500	2500	100	7854	100	3,75	11,5	25	www.fuhrlander.de
Gamesa	G90-2.0 MW	2000	90	6362	100	3	13	25	www.gamesacorp.com
Gamesa	G128-4.5 MW	4500	128	12868	120				www.gamesacorp.com
GE Energy	2.5xl	2500	100	7854	100	3	12,5	25	www.gepower.com
Hyosung	HS90	2000	90,6	6447	77	4	11	25	www.hyosung.co.kr
Hyundai	HQ 2000	2000	93	6793	80	3	10,5	20	www.hyundai-elec.com
Hyundai	AV 928	2500	93,2	6822	80	3	11,5	25	www.hyundai-elec.com
Lagerwey	L82	2000	82	5350	80	2,7	12,5	25	www.lagerweywind.nl
Mitsubishi	MWT95/2.4	2400	95	7088	80	3	12,5	25	www.mhi.co.jp
Multibrid	M5000	5000	116	10568		4	12	25	www.multibrid.com
Nordex	N90/2500 LS	2500	90	6362	120	3	14	25	www.nordex-online.com
Nordex	N100/2500	2500	100	7854	100	3	13	20	www.nordex-online.com
PowerWind	100	2500	100	7854	100	3	12,5	25	www.powerwind-energy.com
REpower	MM92	2050	92,5	6720	100	3	12,5	24	www.repower.de
REpower	3.XM	3300	104	8495	100	3,5	12,5	25	www.repower.de
REpower	5M	5000	126	12469	117	3,5	13	25	www.repower.de
Samsung	2.5MW	2500	90	6362	80	3	13	25	www.shi.samsung.co.kr
Siemens	SWT-2.3-101	2300	101	8000	80	4	12,5	25	www.energy.siemens.com

LIITE 1(2).
Tekniset tiedot

Valmistaja	Malli	Nimellis- teho (kW)	Roottorin halkaisija (m)	Pyyhkäisy- pinta-ala (m ²)	Korkein napakorkeus (m)	Käynnisty- misnopeus (m/s)	Nimellis- nopeus (m/s)	Pysäyttämis- nopeus (m/s)	Lähde
Siemens	SWT-3.6-107	3600	107	9000	80	4	13,5	25	www.energy.siemens.com
Sinovel	SL3000/113	3000	113	10039	110	3	11,5	25	www.sinovel.com
STX	STX 93	2000	93,3	6837	88	3	11	20	www.stxwind.com
Suzlon	S88	2100	88	6082		4	14	25	www.suzlon.com
Unison	U93	2180	93	6790	80	3	11,5	25	www.unison.co.kr
Vensys	100	2500	100	7823	100	3	13,5	25	www.vensys.de
Vestas	V90-1.8MV	1800	90	6362	125	4	12	25	www.vestas.com
Vestas	V100-1.8MV	1800	100	7850	95	4	12	20	www.vestas.com
Vestas	V90-2.0MV	2000	90	6362	125	4	12	25	www.vestas.com
Vestas	V90-3.0MV	3000	90	6362	105	3,5	15	25	www.vestas.com
Vestas	V112-3.0MV	3000	112	9852	119	3	12	25	www.vestas.com
Wikov	W2000	2000	93	6793	100	3	11	20	www.wikov.cz
WinWinD	WWD-3 D100	3000	100	7854	100	4	12,5	20	www.winwind.fi
WinWinD	WWD-3 D103	3000	103	8332	100	4	12,5	20	www.winwind.fi

LIITE 2(1).
Valintakriteerien tulokset

Energiantuotanto

Sij.	Valmistaja ja malli	Pis.	MWh
1	Multibrid M5000	10,0	9354
2	Acciona AW-116/3000	8,3	8190
3	REpower 5M	7,7	7753
4	Sinovel SL3000/113	6,2	6689
5	Alstom ECO 110	5,2	5992
5	Vestas V112-3.0MV	5,2	5992
7	REpower 3.XM	4,8	5712
8	Hyundai HQ 2000	4,6	5582
8	Hyundai AV 928	4,6	5574
10	Fuhrländer FL 2500	4,2	5335
11	STX STX 93	3,7	5015
11	Wikov W2000	3,7	5015
11	WinWinD WWD-3 D100	3,7	4993
11	WinWinD WWD-3 D103	3,7	4993
15	Unison U93	3,5	4861
16	Siemens SWT-3.6-107	3,4	4795
17	Hyosung HS90	3,3	4713
18	GE Energy 2.5xl	2,9	4450
18	PowerWind 100	2,9	4450
20	Mitsubishi MWT95/2.4	2,7	4272
21	Enercon E82	2,5	4134
22	Nordex N100/2500	2,3	3989
22	Samsung 2.5MW	2,3	3989
24	Siemens SWT-2.3-101	2,0	3828
25	Clipper Liberty C100	1,9	3725
25	Vestas V90-2.0MV	1,9	3741
27	REpower MM92	1,8	3649
28	Lagerwey L82	1,7	3609
28	Vensys 100	1,7	3571
30	e.n.o. e.n.o. 92	1,6	3510
31	Vestas V90-1.8MV	1,4	3367
31	Vestas V100-1.8MV	1,4	3367
33	Clipper Liberty C96	1,3	3330
34	e.n.o. e.n.o. 82	1,1	3191
34	Gamesa G90-2.0 MW	1,1	3191
34	Nordex N90/2500 LS	1,1	3212
37	Vestas V90-3.0MV	0,9	3044
38	Suzlon S88	0,1	2513
39	DeWind D8.2	0,0	2415
39	Gamesa G128-4.5 MW	0,0	

Kapasiteettikerroin

Sij.	Valmistaja ja malli	Pis.	
1	Hyundai HQ 2000	10,0	31,9 %
2	Acciona AW-116/3000	9,7	31,2 %
3	STX STX 93	8,4	28,6 %
3	Wikov W2000	8,4	28,6 %
5	Hyosung HS90	7,5	26,9 %
6	Hyundai AV 928	6,8	25,5 %
6	Sinovel SL3000/113	6,8	25,5 %
6	Unison U93	6,8	25,5 %
9	Fuhrländer FL 2500	6,3	24,4 %
10	Enercon E82	5,9	23,6 %
11	Alstom ECO 110	5,5	22,8 %
11	Vestas V112-3.0MV	5,5	22,8 %
13	Multibrid M5000	4,8	21,4 %
13	Vestas V90-1.8MV	4,8	21,4 %
13	Vestas V100-1.8MV	4,8	21,4 %
13	Vestas V90-2.0MV	4,8	21,4 %
17	Lagerwey L82	4,4	20,6 %
18	GE Energy 2.5xl	4,3	20,3 %
18	Mitsubishi MWT95/2.4	4,3	20,3 %
18	PowerWind 100	4,3	20,3 %
18	REpower MM92	4,3	20,3 %
22	REpower 3.XM	4,0	19,8 %
23	Siemens SWT-2.3-101	3,6	19,0 %
23	WinWinD WWD-3 D100	3,6	19,0 %
23	WinWinD WWD-3 D103	3,6	19,0 %
26	e.n.o. e.n.o. 82	3,3	18,2 %
26	e.n.o. e.n.o. 92	3,3	18,2 %
26	Gamesa G90-2.0 MW	3,3	18,2 %
26	Nordex N100/2500	3,3	18,2 %
26	Samsung 2.5MW	3,3	18,2 %
31	REpower 5M	3,0	17,7 %
32	Clipper Liberty C100	2,7	17,0 %
33	Vensys 100	2,3	16,3 %
34	Clipper Liberty C96	1,8	15,2 %
34	Siemens SWT-3.6-107	1,8	15,2 %
36	Nordex N90/2500 LS	1,5	14,7 %
37	DeWind D8.2	1,1	13,8 %
38	Suzlon S88	1,0	13,7 %
39	Vestas V90-3.0MV	0,0	11,6 %
39	Gamesa G128-4.5 MW	0,0	

LIITE 2(2).
Valintakriteerien tulokset

Tuotanto roottorin pyyhkäisyypinta-alaa kohti

Sij.	Valmistaja ja malli	Pis.	kWh/m ²
1	Multibrid M5000	10,0	885
2	Hyundai HQ 2000	8,7	822
3	Hyundai AV 928	8,6	817
4	Enercon E82	7,8	783
5	Acciona AW-116/3000	7,7	775
6	Wikov W2000	6,9	738
8	Hyosung HS90	6,7	731
7	STX STX 93	6,8	734
9	Unison U93	6,4	716
10	Fuhrländer FL 2500	5,6	679
12	REpower 3.XM	5,5	672
10	Lagerwey L82	5,6	675
13	Sinovel SL3000/113	5,4	666
14	Alstom ECO 110	4,7	633
14	WinWinD WWD-3 D100	4,7	636
16	Samsung 2.5MW	4,5	627
17	REpower 5M	4,4	622
18	Vestas V112-3.0MV	4,1	608
19	Mitsubishi MWT95/2.4	4,0	603
20	e.n.o. e.n.o. 82	3,9	598
20	WinWinD WWD-3 D103	3,9	599
22	Vestas V90-2.0MV	3,7	588
23	GE Energy 2.5xl	3,3	567
23	PowerWind 100	3,3	567
25	REpower MM92	2,8	543
26	Vestas V90-1.8MV	2,5	529
26	Siemens SWT-3.6-107	2,5	533
28	e.n.o. e.n.o. 92	2,2	519
30	Nordex N90/2500 LS	1,9	505
29	Nordex N100/2500	2,0	508
30	Gamesa G90-2.0 MW	1,9	502
32	Vestas V90-3.0MV	1,4	478
32	Siemens SWT-2.3-101	1,4	478
32	DeWind D8.2	1,4	480
35	Clipper Liberty C100	1,3	474
36	Clipper Liberty C96	1,0	460
37	Vensys 100	0,9	457
38	Vestas V100-1.8MV	0,3	429
39	Suzlon S88	0,0	413
39	Gamesa G128-4.5 MW	0,0	

LIITE 2(3). Valintakriteerien tulokset

Tehotiheys

Sij.	Valmistaja ja malli	Pis.	m ² /kW
1	Vestas V100-1.8MV	10,0	4,36
2	Vestas V90-1.8MV	6,3	3,53
2	Acciona AW-116/3000	6,3	3,52
4	Siemens SWT-2.3-101	6,1	3,48
5	STX STX 93	5,8	3,42
6	Hyundai HQ 2000	5,7	3,40
6	Wikov W2000	5,7	3,40
8	Sinovel SL3000/113	5,5	3,35
9	REpower MM92	5,2	3,28
9	Vestas V112-3.0MV	5,2	3,28
11	Hyosung HS90	4,9	3,22
12	Gamesa G90-2.0 MW	4,8	3,18
12	Vestas V90-2.0MV	4,8	3,18
14	Alstom ECO 110	4,7	3,16
15	Clipper Liberty C100	4,6	3,14
15	Fuhrländer FL 2500	4,6	3,14
15	GE Energy 2.5xl	4,6	3,14
15	Nordex N100/2500	4,6	3,14
15	PowerWind 100	4,6	3,14
20	Vensys 100	4,5	3,13
21	Unison U93	4,4	3,11
22	e.n.o. e.n.o. 92	4,3	3,07
23	Mitsubishi MWT95/2.4	3,7	2,95
24	Clipper Liberty C96	3,5	2,90
24	Suzlon S88	3,5	2,90
26	Gamesa G128-4.5 MW	3,3	2,86
27	WinWinD WWD-3 D103	3,0	2,78
28	Hyundai AV 928	2,8	2,73
29	Lagerwey L82	2,5	2,68
29	e.n.o. e.n.o. 82	2,5	2,67
31	Enercon E82	2,4	2,64
32	WinWinD WWD-3 D100	2,3	2,62
33	REpower 3.XM	2,0	2,57
34	Nordex N90/2500 LS	1,9	2,54
34	Samsung 2.5MW	1,9	2,54
36	DeWind D8.2	1,8	2,51
37	Siemens SWT-3.6-107	1,7	2,50
37	REpower 5M	1,7	2,49
39	Vestas V90-3.0MV	0,0	2,12
39	Multibrid M5000	0,0	2,11

Napakorkeus

Sij.	Valmistaja ja malli	Pis.	
1	Enercon E82	10,0	24,8 %
2	Vestas V90-1.8MV	8,1	16,8 %
2	Vestas V90-2.0MV	8,1	16,8 %
4	e.n.o. e.n.o. 92	7,8	15,5 %
5	Acciona AW-116/3000	7,4	13,6 %
5	Gamesa G128-4.5 MW	7,4	13,6 %
5	Nordex N90/2500 LS	7,4	13,6 %
8	Vestas V112-3.0MV	7,2	12,9 %
9	REpower 5M	6,9	11,6 %
10	Sinovel SL3000/113	5,8	7,0 %
11	e.n.o. e.n.o. 82	5,5	5,6 %
12	Vestas V90-3.0MV	5,0	3,5 %
13	Alstom ECO 110	4,1	0,0 %
13	Fuhrländer FL 2500	4,1	0,0 %
13	Gamesa G90-2.0 MW	4,1	0,0 %
13	GE Energy 2.5xl	4,1	0,0 %
13	Nordex N100/2500	4,1	0,0 %
13	PowerWind 100	4,1	0,0 %
13	REpower MM92	4,1	0,0 %
13	REpower 3.XM	4,1	0,0 %
13	Vensys 100	4,1	0,0 %
13	Wikov W2000	4,1	0,0 %
13	WinWinD WWD-3 D100	4,1	0,0 %
13	WinWinD WWD-3 D103	4,1	0,0 %
25	Vestas V100-1.8MV	3,3	-3,6 %
26	STX STX 93	2,0	-8,9 %
27	Clipper Liberty C96	0,6	-15,1 %
27	Clipper Liberty C100	0,6	-15,1 %
27	DeWind D8.2	0,6	-15,1 %
27	Hyundai HQ 2000	0,6	-15,1 %
27	Hyundai AV 928	0,6	-15,1 %
27	Lagerwey L82	0,6	-15,1 %
27	Mitsubishi MWT95/2.4	0,6	-15,1 %
27	Samsung 2.5MW	0,6	-15,1 %
27	Siemens SWT-2.3-101	0,6	-15,1 %
27	Siemens SWT-3.6-107	0,6	-15,1 %
27	Unison U93	0,6	-15,1 %
38	Hyosung HS90	0,0	-17,5 %
38	Multibrid M5000	0,0	
38	Suzlon S88	0,0	

LIITE 2(4). Valintakriteerien tulokset

Käyttövarmuus Suomessa

Sij.	Valmistaja ja malli	Pis.	
1	Enercon E82	10,0	98,3 %
2	Siemens SWT-2.3-101	9,5	97,3 %
2	Siemens SWT-3.6-107	9,5	97,3 %
4	STX STX 93	6,0	90,9 %
5	Vestas V90-1.8MV	5,8	90,7 %
5	Vestas V100-1.8MV	5,8	90,7 %
5	Vestas V90-2.0MV	5,8	90,7 %
5	Vestas V90-3.0MV	5,8	90,7 %
5	Vestas V112-3.0MV	5,8	90,7 %
10	WinWinD WWD-3 D100	2,6	84,7 %
10	WinWinD WWD-3 D103	2,6	84,7 %
12	Acciona AW-116/3000	0,0	80,0 %
12	Alstom ECO 110	0,0	80,0 %
12	Clipper Liberty C96	0,0	80,0 %
12	Clipper Liberty C100	0,0	80,0 %
12	DeWind D8.2	0,0	80,0 %
12	e.n.o. e.n.o. 82	0,0	80,0 %
12	e.n.o. e.n.o. 92	0,0	80,0 %
12	Fuhrländer FL 2500	0,0	80,0 %
12	Gamesa G90-2.0 MW	0,0	80,0 %
12	Gamesa G128-4.5 MW	0,0	80,0 %
12	GE Energy 2.5xl	0,0	80,0 %
12	Hyosung HS90	0,0	80,0 %
12	Hyundai HQ 2000	0,0	80,0 %
12	Hyundai AV 928	0,0	80,0 %
12	Lagerwey L82	0,0	80,0 %
12	Mitsubishi MWT95/2.4	0,0	80,0 %
12	Multibrid M5000	0,0	80,0 %
12	Nordex N90/2500 LS	0,0	80,0 %
12	Nordex N100/2500	0,0	80,0 %
12	PowerWind 100	0,0	80,0 %
12	REpower MM92	0,0	80,0 %
12	REpower 3.XM	0,0	80,0 %
12	REpower 5M	0,0	80,0 %
12	Samsung 2.5MW	0,0	80,0 %
12	Sinovel SL3000/113	0,0	80,0 %
12	Suzlon S88	0,0	80,0 %
12	Unison U93	0,0	80,0 %
12	Vensys 100	0,0	80,0 %
12	Wikov W2000	0,0	80,0 %

Käyttövarmuus Ruotsissa

Sij.	Valmistaja ja malli	Pis.	
1	WinWinD WWD-3 D100	10,0	100,0 %
1	WinWinD WWD-3 D103	10,0	100,0 %
3	Siemens SWT-2.3-101	9,4	98,8 %
3	Siemens SWT-3.6-107	9,4	98,8 %
5	Enercon E82	9,2	98,4 %
6	Nordex N90/2500 LS	9,0	97,9 %
6	Nordex N100/2500	9,0	97,9 %
8	Vestas V90-1.8MV	8,7	97,3 %
8	Vestas V100-1.8MV	8,7	97,3 %
8	Vestas V90-2.0MV	8,7	97,3 %
8	Vestas V90-3.0MV	8,7	97,3 %
8	Vestas V112-3.0MV	8,7	97,3 %
13	Acciona AW-116/3000	0,0	80,0 %
13	Alstom ECO 110	0,0	80,0 %
13	Clipper Liberty C96	0,0	80,0 %
13	Clipper Liberty C100	0,0	80,0 %
13	DeWind D8.2	0,0	80,0 %
13	e.n.o. e.n.o. 82	0,0	80,0 %
13	e.n.o. e.n.o. 92	0,0	80,0 %
13	Fuhrländer FL 2500	0,0	80,0 %
13	Gamesa G90-2.0 MW	0,0	80,0 %
13	Gamesa G128-4.5 MW	0,0	80,0 %
13	GE Energy 2.5xl	0,0	80,0 %
13	Hyosung HS90	0,0	80,0 %
13	Hyundai HQ 2000	0,0	80,0 %
13	Hyundai AV 928	0,0	80,0 %
13	Lagerwey L82	0,0	80,0 %
13	Mitsubishi MWT95/2.4	0,0	80,0 %
13	Multibrid M5000	0,0	80,0 %
13	PowerWind 100	0,0	80,0 %
13	REpower MM92	0,0	80,0 %
13	REpower 3.XM	0,0	80,0 %
13	REpower 5M	0,0	80,0 %
13	Samsung 2.5MW	0,0	80,0 %
13	Sinovel SL3000/113	0,0	80,0 %
13	STX STX 93	0,0	80,0 %
13	Suzlon S88	0,0	80,0 %
13	Unison U93	0,0	80,0 %
13	Vensys 100	0,0	80,0 %
13	Wikov W2000	0,0	80,0 %

LIITE 3.
Kokonaistulokset

Kokonaissijoitus	Kokonaist pisteeet	Valmistaja ja malli	Energiantuotanto	Pisteet paimoarvo: 20%	Kapasteettikeroiin	Pisteet paimoarvo: 20%	Tuotanto pyyhkäisy-pinta- alaa kohti	Pisteet paimoarvo: 5%	Tehoitheys	Pisteet paimoarvo: 15%	Napakorkeus	Pisteet paimoarvo: 10%	Käyttövarmuus (Suomi)	Pisteet paimoarvo: 15%	Käyttövarmuus (Ruotsi)	Pisteet paimoarvo: 15%
1	6,3	Enercon E82 Vestas V112-3.0MW Acciona AW-116/3000 Vestas V90-1.8MW Vestas V100-1.8MW Vestas V90-2.0MW Siemens SWT-2.3-101 STX STX 93 WinWinD WWD-3 D103 Hyundai HQ 2000 Siemens SWT-3.6-107 Sinovel SL3000/113 WinWinD WWD-3 D100 Wikov W2000 Nordex N100/2500 Alstom ECO 110 Fuhrländer FL 2500 Multibrid M5000 REpower 5M Hvosung HS90 Hyundai AV 928 Unison U93 Nordex N90/2500LS Vestas V90-3.0MW GE Energy 2.5xl PowerWind 100 REpower 3.XM REpower MM92 e.n.o.e.n.o. 92 Mitsubishi MW795/2.4 Gamesa G90-2.0MW e.n.o.e.n.o. 82 Lagerwey L82 Vensys 100 Clipper Liberty C100 Samsung 2.5MW Clipper Liberty C96 Gamesa G128-4.5 MW Suzlon S88 DeWind D8.2	21.	2,5	10.	5,9	4.	7,8	31.	2,4	1.	10,0	1.	10,0	5.	9,2
2	6,0		5.	5,2	11.	5,5	18.	4,1	9.	5,2	8.	7,2	5.	5,8	8.	8,7
3	5,7		2.	8,3	2.	9,7	5.	7,7	2.	6,3	5.	7,4	12.	0,0	13.	0,0
4	5,3		31.	1,4	13.	4,8	26.	2,5	2.	6,3	2.	8,1	5.	5,8	8.	8,7
4	5,3		31.	1,4	13.	4,8	38.	0,3	1.	10,0	25.	3,3	5.	5,8	8.	8,7
5	5,2		25.	1,9	13.	4,8	22.	3,7	12.	4,8	2.	8,1	5.	5,8	8.	8,7
7	5,0		24.	2,0	23.	3,6	32.	1,4	4.	6,1	27.	0,6	2.	9,5	3.	9,4
8	4,7		11.	3,7	3.	8,4	7.	6,8	5.	5,8	26.	2,0	4.	6,0	13.	0,0
9	4,4		11.	3,7	23.	3,6	20.	3,9	27.	3,0	13.	4,1	10.	2,6	1.	10,0
10	4,3		8.	4,6	1.	10,0	2.	8,7	6.	5,7	27.	0,6	12.	0,0	13.	0,0
10	4,3		16.	3,4	34.	1,8	26.	2,5	37.	1,7	27.	0,6	2.	9,5	3.	9,4
10	4,3		4.	6,2	6.	6,8	13.	5,4	8.	5,5	10.	5,8	12.	0,0	13.	0,0
10	4,3		11.	3,7	23.	3,6	14.	4,7	32.	2,3	13.	4,1	10.	2,6	1.	10,0
14	4,0		11.	3,7	3.	8,4	6.	6,9	6.	5,7	13.	4,1	12.	0,0	13.	0,0
15	3,7		22.	2,3	26.	3,3	29.	2,0	15.	4,6	13.	4,1	12.	0,0	6.	9,0
16	3,5		5.	5,2	11.	5,5	14.	4,7	14.	4,7	13.	4,1	12.	0,0	13.	0,0
16	3,5		10.	4,2	9.	6,3	10.	5,6	15.	4,6	13.	4,1	12.	0,0	13.	0,0
16	3,5		1.	10,0	13.	4,8	1.	10,0	39.	0,0	38.	0,0	12.	0,0	13.	0,0
19	3,3		3.	7,7	31.	3,0	17.	4,4	37.	1,7	9.	6,9	12.	0,0	13.	0,0
20	3,2		17.	3,3	5.	7,5	8.	6,7	11.	4,9	38.	0,0	12.	0,0	13.	0,0
20	3,2		8.	4,6	6.	6,8	3.	8,6	28.	2,8	27.	0,6	12.	0,0	13.	0,0
22	3,1		15.	3,5	6.	6,8	9.	6,4	21.	4,4	27.	0,6	12.	0,0	13.	0,0
23	3,0		34.	1,1	36.	1,5	30.	1,9	34.	1,9	5.	7,4	12.	0,0	6.	9,0
24	2,9		37.	0,9	39.	0,0	32.	1,4	39.	0,0	12.	5,0	5.	5,8	8.	8,7
25	2,7		18.	2,9	18.	4,3	23.	3,3	15.	4,6	13.	4,1	12.	0,0	13.	0,0
25	2,7		18.	2,9	18.	4,3	23.	3,3	15.	4,6	13.	4,1	12.	0,0	13.	0,0
25	2,7		7.	4,8	22.	4,0	12.	5,5	33.	2,0	13.	4,1	12.	0,0	13.	0,0
28	2,6		27.	1,8	18.	4,3	25.	2,8	9.	5,2	13.	4,1	12.	0,0	13.	0,0
29	2,5		30.	1,6	26.	3,3	28.	2,2	22.	4,3	4.	7,8	12.	0,0	13.	0,0
30	2,2		20.	2,7	18.	4,3	19.	4,0	23.	3,7	27.	0,6	12.	0,0	13.	0,0
31	2,1		34.	1,1	26.	3,3	30.	1,9	12.	4,8	13.	4,1	12.	0,0	13.	0,0
32	2,0		34.	1,1	26.	3,3	20.	3,9	29.	2,5	11.	5,5	12.	0,0	13.	0,0
33	1,9		28.	1,7	17.	4,4	10.	5,6	29.	2,5	27.	0,6	12.	0,0	13.	0,0
33	1,9		28.	1,7	33.	2,3	37.	0,9	20.	4,5	13.	4,1	12.	0,0	13.	0,0
35	1,7		25.	1,9	32.	2,7	35.	1,3	15.	4,6	27.	0,6	12.	0,0	13.	0,0
35	1,7		22.	2,3	26.	3,3	16.	4,5	34.	1,9	27.	0,6	12.	0,0	13.	0,0
37	1,3		33.	1,3	34.	1,8	36.	1,0	24.	3,5	27.	0,6	12.	0,0	13.	0,0
38	1,2		39.	0,0	39.	0,0	39.	0,0	26.	3,3	5.	7,4	12.	0,0	13.	0,0
39	0,7		38.	0,1	38.	1,0	39.	0,0	24.	3,5	38.	0,0	12.	0,0	13.	0,0
40	0,6		39.	0,0	37.	1,1	32.	1,4	36.	1,8	27.	0,6	12.	0,0	13.	0,0